

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

Robert B. Laughlin

1998 Nobel Fizik Ödülü Sahibi

FARKLI BİR EVREN

FİZİĞİ EN BAŞTAN İCAT ETMEK

ALFA BİLİM

Farklı Bir Evren: Fiziği En Baştan İcat Etmek

© 2011, ALFA Basım Yayın Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

A Different Universe: Reinventing Physics From the Bottom Down

© 2005, Robert B. Laughlin

İlk olarak Perseus Books Group'un üyesi olan Basic Books tarafından ABD'de basılmıştır.
First published in the United States by Basic Books a member of the Perseus Books Group.

Kitabın Türkçe yayın hakları Nurihan Kesim Ajans aracılığıyla Alfa Basım Yayın Dağıtım Ltd. Şti.'ne aittir. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılacak kısa alıntılar dışında, yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir elektronik veya mekanik araçla çoğaltılamaz. Eser sahiplerinin manevi ve mali hakları saklıdır.

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak

Genel Müdür Vedat Bayrak

Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu

Dizi Editörü Kerem Cankocak

Redaksiyon Mehmet Ata Arslan

Kapak Tasarımı Nurten Çidik

Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

ISBN 978-605-106-979-1

1. Basım: Ocak 2015

Baskı ve Cilt

Melisa Matbaacılık

Çiftelavuzlar Yolu Acar Sanayi Sitesi No: 8 Bayrampaşa-İstanbul

Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29

Sertifika no: 12088

Alfa Basım Yayın Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Alemdar Mahallesi Ticarethane Sokak No: 15 34110 Fatih-İstanbul

Tel: 0(212) 511 53 03 Faks: 0(212) 519 33 00

www.alfakitap.com - info@alfakitap.com

Sertifika no: 10905

Robert B. Laughlin

1998 Nobel Fizik Ödülü Sahibi

FARKLI BİR EVREN

FİZİĞİ EN BAŞTAN İCAT ETMEK

Çeviri
Ulaş Apak

ALFA BİLİM

Anita'ya

*Evren yalnızca hayal ettiğimizden daha tuhaf değildir,
hayal edebileceğimizden de daha tuhaftır.*

Sir Arthur Eddington

İÇİNDEKİLER

Önsöz, 9

Teşekkürler, 17

(BİR)

Sınır Kanunu, 19

(İKİ)

Belirsizlikle Yaşamak, 27

(ÜÇ)

Newton Dağı, 41

(DÖRT)

Su, Buz ve Buhar, 53

(BEŞ)

Schrödinger'in Kedisi, 68

(ALTI)

Kuantum Bilgisayarı, 81

(YEDİ)

Vin Klitzing, 94

(SEKİZ)

Akşam Yemeğinde Çözdüm, 105

(DOKUZ)

Çekirdek Aile, 124

(ON)

Uzay-Zaman Dokusu, 143

(ON BİR)

Bibloların Karnavalı, 154

(ON İKİ)

Korumanın Karanlık Tarafı, 171

(ON ÜÇ)

Hayatın İlkeleri, 186

(ON DÖRT)

Yıldız Savaşçıları, 207

(ON BEŞ)

Güneşin Altındaki Piknik Masası, 225

(ON ALTI)

Beliren Çağ, 237

Dizin, 255

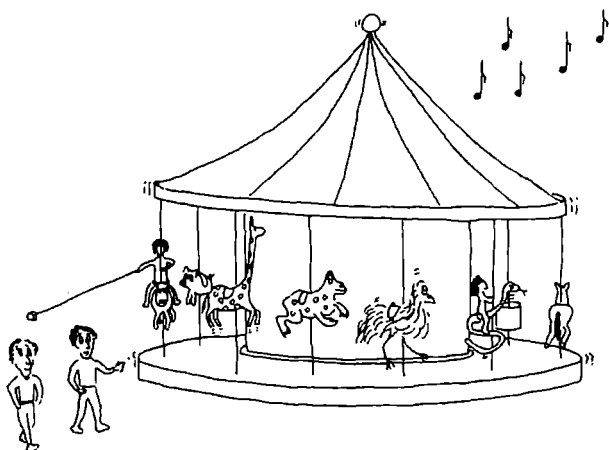
ÖNSÖZ

Bütün ırmaklar denize akar, yine de deniz dolmaz.
Irmaklar hep çıktıkları yere döner.

Vaiz 1:7

İnsan zihninin birbiriyle çelişkili iki temel dürtüsü vardır: Birincisi bir şeyi temellerine kadar basitleştirmek, diğeri temellerine bakıp büyük sonuçları görmek. Hepimiz bu çelişkiyle yaşar ve zaman zaman ona kafa yorarız. Örneğin deniz kenarındayken çoğumuz dünyanın görkemine dair düşüncelere kapılırız, oysa deniz özünde suyla doldurulmuş bir çukurdur. Bu konudaki engin kaynaklar –ki bazıları çok eskidir– bu çelişkiyi ahlaki olarak ya da kutsal ve dünyevi olan şeyler arasındaki gerginlik olarak ifade eder. Dolayısıyla denizi bir mühendis gibi basit ve sonlu olarak görmek animist ve ilkel, sonsuz bir olasılıklar kaynağı olarak görmek ise gelişmiş ve insanidir.

Ama bu çelişki bir algılama meselesinden ibaret değildir, aynı zamanda fizikseldir de. Doğal dünya hem temeller hem de onlardan taşan güçlü örgütlenme ilkeleriyle düzenlenir. Bu ilkeler, temeller biraz değiştirilse bile geçerliliklerini korumalarından dolayı aşkındırlar. Doğaya çelişkili bakışımız doğanın kendisindeki bir çelişkiyi yansıtır: Doğa da deniz gibi aynı zamanda hem ilkel öğelerden hem de onların meydana getirdiği dengeli, karmaşık örgütlenme yapılarından oluşur.



Hayatın özü

Denizin kenarı elbette aynı zamanda eğlenilecek bir yerdir. Bu, kalas iskelenin yanında derin derin düşünürken aklınızda tutmanız gereken bir şeydir. Hayatın gerçek özü, atlıkarıncanın çok yakınından yürümek ve yüzüne bir yo-yo yemektir. Neyse ki; biz fizikçiler, kendi tumturaklı olma eğilimlerimizin tamamen farkındayız ve onları kontrol altında tutmak için elimizden geleni yaparız. San Diego'daki California Üniversitesinde öğretim üyesi olan meslektaşım Dan Arovas, mizahi köşe yazıları yazan Dave Barry'ye yazdığı mektupta bu tutumu ustaca ifade etmişti:

Sevgili Dave, senin tutkulu bir hayranınım ve köşe yazılarını her gün okuyorum. Senin gibi yazabilmek için her şeyi verirdim. Şerefine bir ağaç ev inşa ettim ve onun içinde yaşıyorum. Sevgilerimle, Dan.

Dan'ın dediğine göre Dave şöyle cevap vermiş:

Sevgili Dan, Hayran mektubun için teşekkürler. Bu arada, seni nükleer silahların yanına yaklaştırıyorlar mı? Sevgilerimle, Dave.

Birkaç yıl önce emekli bir akademisyen olan kayınpederimle, fiziksel kanunların toplu doğası hakkında konuşma

fırsatı yakaladım. Bir akşamüstü briç oynamayı yeni bitirmiştik ve eşlerimizle duygusal derinliği olan filmlerle ilgili konuşmaktan kurtulmak için birer cin tonik yudumluyorduk. Benim argümanım, doğal dünyadaki güvenilir neden-sonuç ilişkilerinin, bu güvenilirliklerini mikroskobik kurallara değil, örgütlenme ilkelerine borçlu olmalarından dolayı bize kendimiz hakkında bir şey söylediği idi. Bir başka deyişle; önem verdiğimiz doğa kanunları, toplu kendi kendini örgütlenme vasıtasıyla ortaya çıkarlar ve gerçekte onları kavramak ve kullanmak için bileşen parçalarını bilmeye gerek yoktur. Kayınpederim beni dikkatle dinledikten sonra anlamadığını beyan etti. O her zaman örgütlenmenin kanunlara değil, kanunların örgütlenmeye neden olduğunu düşünmüştü. Tersinin mantıklı olduğundan bile emin değildi. O zaman ona mevzuatların ve şirket kurullarının mı kanunları yaptığını, yoksa kanunların mı onları yaptığını sordum ve hemen sorunu anladı. Bir süre bu konuyu derin derin düşündü, ardından olayların olma sebebi konusunda kafasının çok karıştığını ve daha fazla düşünmesi gerektiğini itiraf etti. Hakikaten bu konuda düşünmek gerekir.

Bilimin, entelektüel yaşamımızın diğer kısmından bu kadar uzaklaşmış olması korkunç bir şeydir; zira başlangıçta böyle değildi.¹ Örneğin Aristoteles'in eserleri, içerdikleri ünlü hatalara rağmen, zarif bir biçimde açık, amaçlı ve erişilebilirdir.² Darwin'in *Türlerin Kökeni* de öyle.³ Modern bilimin anlaşılabilirliği profesyonelliğin talihsiz bir yan etkisidir ve bilim insanlarının sık sık alay konusu olmasına neden olur; bunu hak ederler de. Herkes arabasıyla evinden işine giderken radyoyu açıp Doktor Bilim'in telefonda kendisine yöneltilen sorulara gülünç cevaplar vermesini (İnekler neden otlanırken aynı yöne dönerler? Çünkü günde birkaç kere

¹ Bilimle beşeri bilimler arasındaki çatışma dillere destandır. Bkz. C. P. Snow, *The Two Cultures* (Cambridge U. Pires, Cambridge, 1993).

² Aristotle, *The Complete Works of Aristotle: The Revised Oxford Edition*, J. Barnes, ed. (Princeton U. Press, Princeton, 1995).

³ Darwin'in eseri o kadar dolambaşızdır ki en iyisi orijinalini okumaktır. Bkz. C. Darwin, *The Origin of Species*, G. Suriano, ed. (Bantam, New York, 1999).

yüzlerini Wisconsin'e dönmeleri gerekir) ve "Unutmayın. Sizden daha iyi biliyorum. Bir bilim dalında yüksek lisans derecem var," diyerek sözünü tamamlamasını dinlemekten müthiş bir keyif alır.⁴ Bir başka gün; kayınpederim, ekonominin bir bilim haline getirilene kadar mükemmel olduğu tespitini yapmıştı. Haksız sayılmazdı.

Fiziksel kanunlar hakkındaki konuşmadan sonra bilimin; kanunlar, kanunların örgütlenmesi ve örgütlenmeden ortaya çıkan kanunlarla ilgili çok bilim dışı olduğu aşikâr olan yumurta-tavuk sorununa bilimin ne diyebileceğini düşünmeye koyuldum. Birçok kişinin bu konuda kesin fikirlere sahip olduğunu, ama bunun nedenini açıkça ifade edemediğini kavramaya başladım. Meslektaşlarımla uzayın kuantum mekaniği hakkındaki bazı spekülatif fikirleri açıklayan popüler bir kitap olan Brian Greene'in *The Elegant Universe*'ü [*Evrenin Zarafeti*] hakkında aynı sohbeti tekrar tekrar yaptığımı fark ettiğimde mesele dönüm noktasına ulaştı.⁵ Bu sohbet, fiziğin zihnin mantıksal bir yaratımı mı olduğu, yoksa gözlemi temel alan bir sentez mi olduğu sorusuna odaklanıyordu. Şüphesiz ki tartışmaya neden olan itici güç, varoluşsal bir sorun değil paraydı; para yoksunluğu dünya biliminin evrensel ortak paydasıdır. Ama görünüşe göre konu hep oradan dünyanın güzel olan ama hiçbir deney tahmininde bulunmayan modellerini yapmanın anlamsızlığına, oradan da bilimin ne olduğu sorusuna kayıyordu. Bu Seattle, Taipei ve Helsinki gibi farklı yerlerde birkaç kere tekrarlandıktan sonra aniden, Greene'in kitabının doğurduğu anlaşmazlığın temel olarak, o gün briç oynadıktan sonra kafamızı meşgul edenle aynı sorun olduğunu fark ettim. Dahası; bu, ideolojik bir çekiş-

⁴ Kimi çevrelerde Amerika'nın Monty Python'ı olarak tanınan *The Duck's Breath Mystery Theatre*, 1975'te bir grup Iowa Üniversitesi öğrencisi tarafından kuruldu. Grup üyeleri daha sonra San Francisco'ya göç ettiler, komedi programlarıyla ünlü oldular ve National Public Radio'nun *Science Friday* programında düzenli olarak çıkmaya başladılar. Bu grubun kayıtları ve anı eşyalarını edinmek için bkz: <http://www.drscience.com>.

⁵ B. Greene, *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions and the Quest for the Ultimate Theory* (Norton, New York, 1999).

meydi: Neyin doğru olduğuyla hiç ilgisi yoktu, "doğru"nun ne olduğuyla ise çok ilgisi vardı.

Fizikte yaygın olarak iyi notasyonun ilerlettiği, kötü notasyonun ise geriletteği söylenir. Bu kesinlikle doğrudur. Fonetik bir alfabe, resimli bir alfabeye göre daha kısa sürede öğrenilir; böylece yazmayı daha erişilebilir hale getirir. Ondalık sayıları kullanmak, Romen rakamlarını kullanmaktan daha kolaydır. Aynı fikir ideolojiler için de geçerlidir. Doğa kavrayışımızı matematiksel bir yapı olarak görmenin, deneysel bir sentez olarak görmeye göre önemli ölçüde farklı sonuçları vardır. Bu bakış açılarından biri bizi evrenin hâkimleri olarak tanımlarken, diğeri evreni bizim efendimiz olarak tanımlar. Deneysel bilim saflarındaki meslektaşlarımın bu soruyu bu kadar hararetle tartışmaları hiç garip değildi. Bu konu, özünde bilimsel olmayıp, kişinin benlik duygusu ve dünyadaki yeriyle ilgilidir.

Bu iki dünya görüşünün parçacıkları çok derine uzanır. Çocukken Chicago'dan gelen teyzem ve eniştemle buluşmak için anne babamla Yosemite'e gitmiştim. Eniştem çok zeki ve son derece başarılı bir patent avukatıydı, adeta her şeyi biliyordu ve bunu göstermekten hiç çekinmiyordu. Örneğin bir keresinde lazerin mucidi Charles Townes'ın lazerler hakkında bir konuşmasını dinlediğimi öğrendikten sonra bana lazerlerin nasıl işlediği hakkında uzun bir nutuk çekmişti. Besbelli lazerler hakkında Profesör Townes'tan daha fazla şey biliyordu. Buluşmada teyzemle ikisi Yosemite'in en lüks oteli olan Ahwahnee'ye yerleştiler, orada bizimle vakit geçirdiler, açık büfeden kahvaltı ettiler, sonra da Tuolumne Geçidi üzerinden çöle geçmek, oradan da evlerine gitmek üzere otelden ayrıldılar. Tek bir şelaleyi bile yakından gördüklerini sanmıyorum. Bir anlamı yoktu, çünkü daha önce şelale görmüşlerdi ve bu kavramı anlıyorlardı. Onlar ayrıldıktan sonra ailemle beraber şiddetle kükreyerek akan Merced nehri boyunca yürüyerek Nevada Şelalesine vardık ve kır çiçekleriyle kaplı bir çayırın yanındaki devasa bir granit parçasının üzerinde piknik yaptık. Biz de kavramı anlıyorduk, ama anlayışımızı aşırı ciddiye almayacak kadar akıllıydık.

Eniştemin Yosemite'e yönelik tutumunu ve muhtemelen Brian Greene'in fiziğe karşı tutumunu motive eden dũnya görüşü John Horgan'ın *The End of Science* [Bilimin Sonu] kitabında çok net bir şekilde ifade edilir. Horgan bu eserde artık bũtũn temel şeylerin bilindiğini ve bize kalan tek işin ayrıntıları tamamlamak olduğunu ileri sũrer.⁶ Bu görüş, zaten sabırlarının sınırında olan deneysel meslektaşlarımın sabır taşlarını çatlatır; çünkü hem hatalıdır hem de tamamen bel altından vurur. Yeni şeyler bulma arayışı her zaman ümitsiz bir dava gibi grũnũr, ne zaman ki biri bir keşif yapana kadar. Eğer önümüzde neyin olduğu ortada olsaydı, onu aramamıza gerek olmazdı!

Ne yazık ki bu görüş yaygındır. Bir keresinde Chicago Üniversitesiindeki ünlũ evrenbilimci merhum David Schramm ile galaksi fıskiyelele hakkında konuşuyordum. Bunlar; bazı galaksilerin çekirdeklerinden olaęanüstũ mesafelere, kimi zaman birkaç galaksi çapı uzaklığa kadar fışkıran, bir şekilde çekirdekteki mekanik dönüşle ortaya çıkan, ince plazma kalemleridir. Nasıl olup da böyle akla durgunluk verecek mesafeler boyunca ince kalabildikleri anlaşılamamıştır; bu da bana son derece ilginç gelir. Ama David bũtũn bu etkiye "hava durumu" diyerek bir kenara itti. O, yalnızca başlangıçtaki evrenle ve ona biraz olsun ışık tutabilecek astrofiziksel gözlemlerle ilgileniyordu. Temel meselelele hakkında ona özel bir şey söylemedikleri gerekçesiyle fıskiyelele can sıkıcı ve dikkat dağıtıcı unsurlar olarak kategorize ediyordu. Bense tersine hava durumundan çok etkilenir ve etkilenmediğini iddia eden insanların yalan söylediğine inanırım.

Hava durumu gibi ilkel rgũtlenme olgularının, bize kendimiz de dâhil, daha karmaşık olgular hakkında daha fazla şey söyleyecek kadar kalıcı bir öneme sahip olduğunu dũřũnũyorum: Bu olguların ıkelliği, bize mikroskobik kanunlarla ynetildiklerini, ama aynı zamanda çelişkili bir biçimde daha sofistike ynlelerinden bazılarının bu kanunla-

⁶ J. Horgan, *The End of Science: Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age* (Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1997).

rın ayrıntılarına duyarsız olduğunu kesin bir şekilde ortaya koyma imkânı verir. Diğer bir deyişle; bu basit durumlarda, örgütlenmenin kendi başına bir anlam ve hayat edinebildiğini ve de onu oluşturan parçaları aşmaya başlayabildiğini *kanıtlayabiliriz*. Dolayısıyla fizik biliminin bize söylediği, bütünün parçalarının toplamından fazlası olmasının sadece bir kavram değil, fiziksel bir fenomen olduğudur. Doğa sadece mikroskobik bir kurallar tabanıyla değil, güçlü ve genel örgütlenme ilkeleriyle düzenlenir. Bu ilkelerden bazıları bilinir, ama büyük çoğunluğu bilinmez. Sürekli yenileri keşfedilir. Daha yüksek karmaşıklık seviyelerinde neden-sonuç ilişkilerini belgelemek daha zordur, ama ilkel dünyada bulunan hiyerarşik kanun dizisinin yerini başka bir şeyin aldığına dair kanıt yoktur. Dolayısıyla eğer basit bir fiziksel olgu onu açıklayan daha temel fiziksel kanunlardan fiilen bağımsız hale gelebiliyorsa, biz de gelebiliriz. Ben karbonum, ama öyle olmaya ihtiyacım yoktur. Beni oluşturan atomları aşan bir anlamım vardır.

Bu mesajın esas öğeleri Ilya Prigogine'in yazılarında⁷ ve daha da önce P.W. Anderson'un yazdığı, 30 yıldan fazla süre önce yayımlanmış "*More is Different*"⁸ adını taşıyan ünlü bir denemede açıkça ifade edilmiştir. Bu deneme şu anda hâlâ tazeliği ve ilham vericiliğini koruyor ve de benimle çalışmak isteyen bütün öğrenciler için zorunlu okuma listesinde.

Fakat benim görüşlerim iki selefiminkilerden çok daha radikal, çünkü yakın zamanlı olaylarla şekillendirildi. Gidererek bildiğimiz fiziksel kanunların bazılarının değil, *hepsinin* toplu kökenlerinin olduğuna inanıyorum. Bir başka deyişle, temel kanunlarla onlardan gelen kanunlar arasındaki ayrım da, yalnızca matematik vasıtasıyla evrenin efendisi olma fikri de birer mitten ibaret. Fiziksel kanunlar genel olarak saf düşünceyle tahmin edilemez ve deneysel olarak keşfedilmelidir; çünkü doğanın kontrolü ancak doğa bir örgütlenme ilkesi üzerinden buna izin verdiği zaman mümkün olur. Bu

⁷ I. Prigogine, *The End of Certainty: Time, Chaos and the New Laws of Nature* (Simon and Schuster, New York, 1997).

⁸ P.W. Anderson, *More is Different*, *Science* 177, 393 (1972).

teze indirgemeciliğin (olayların giderek daha küçük bileşen parçalarına bölündüklerinde mutlaka açıklığa kavuşacağı inancının) sonu alt başlığı koyulabilir, ama bu tam olarak doğru olmazdı. Ben dâhil bütün fizikçiler özünde indirgemecidirler. Niyetim indirgemeciliği hatalı çıkarmak değil, onu büyük resimdeki uygun yerine oturtmaktır.

İddiamı savunmak için bazı şoke edici fikirleri açıkça tartışmalıyım: "madde" olarak uzayzaman vakumu, göreliliğin temel nitelikte olmaması ihtimali, hesaplanabilirliğin toplu doğası, kuramsal bilginin önündeki epistemolojik engeller, deneysel yanlışlamanın önündeki benzer engeller ve modern kuramsal fiziğin önemli parçalarının mitolojik doğası. Elbette radikallik kısmen bir sahne aksesuarıdır, zira bilim deneysel bir girişim olarak radikal ya da muhafazakâr olamaz, sadece gerçeklere sadık olabilir. Ama bilimden çok felsefe olan bu büyük kavramsal meseleler çoğu zaman bizi en çok ilgilendiren şeydir; çünkü meziyeti tartmak, kanunları yazmak ve günlük hayatımızda seçimler yapmak için onlara başvururuz.

O halde amaç ihtilaf olsun diye ihtilaf çıkarmak değil, bilimin ne hale geldiğini açıkça görmemize yardımcı olmaktır. Bunu yapmak için, bilimin teknolojiye olanak sağlama işlevini, kendimiz de dâhil, nesneleri anlamamanın bir yöntemi işlevinden zorla ayırmalıyız. Aslında yaşadığımız dünya modern bilimsel mitolojinin neşeyle idealize edilmesinin aksine bakmadığımız ya da teknik sınırlamalar nedeniyle bakamadığımız için, henüz görmediğimiz şahane ve önemli şeylerle doludur. Bilimin büyük gücü, vahşi bir nesnellik vasıtasıyla beklemediğimiz gerçeği gözümüzün önüne serme kabiliyetidir. Bu bakımdan hâlâ paha biçilmezdir ve insanın en büyük yaratımlarından biridir.

TEŞEKKÜRLER

Bu kitap, özgün fikri bulan ve yayıncılara projeyi tanıtmak ve de beni yazmaya teşvik etmek için canla başla çalışan Steve Lew'in paha biçilmez çabaları olmasa gerçeğe dönüşmezdi. Yazmaya teşvik edilmem çok önemliydi, çünkü biz bilim insanlarının bu boyutta bir işi başarabilmek için fedakârlıkta bulunmamız gereken sorumlulukları ve sözleşmeye dayalı yükümlülükleri vardır. Steve ile etkileşimim uzun akademik kariyerim boyunca girdiğim en akılda kalıcı etkileşimlerden biri oldu; onun hem kolaylaştırıcı ve organizatör olarak sıra dışı yeteneklerini hem de fiziksel belirme sorununu hümanist bir perspektiften görmem için bana sunduğu muazzam yardımı minnettarlıkla takdir ediyorum. Fikirlerini de takdir ediyorum. Bu projenin tonu, biçimi ve kapsamı kısmen ona ait, zira bunlar aylar boyunca ofisimde onunla yürüttüğümüz bir dizi konuşma sonucunda ortaya çıktı. Bütün bunlar için ve bana taslak metni düzenlemekte yardımcı olduğu için Steve'e tüm kalbimle teşekkür ediyorum.

Ayrıca Profesör Davis Pines'a da projeyi başlatmaktaki çok sabırlı yardımları ve taslak metni eleştirel olarak okuduğu için büyük bir teşekkür borçluyum. David'in 1999'un baharında Stanford'u ziyareti sırasında hem toplu örgütlenmenin fiziksel yanı hakkındaki görüşlerimizin hem de bizim için bu kadar aşikâr olan bu meseleyi anlaşılabilir günlük dilde ifade etme ihtiyacıyla ilgili algılarımızın aynı olduğunu keşfettik; geçmişlerimizin çok farklı olduğu düşünülürse bu büyük bir sürpriz oldu. Bu keşif de sonradan bu kitaba dönüşecek fikrin ana temalarının ilk defa açıkça ifade edil-

diği “Her Şeyin Kuramı” ismindeki denemeyi beraber kaleme almamızla sonuçlandı.¹ O denemenin müthiş bir popülerlik kazanması her ikimizi de hazırlıksız yakaladı ve daha büyük bir halinin yazılması gerektiğini anlamamızı sağladı. David’in ziyareti aynı zamanda beni deneysel gözlemlerin matematikten değil, matematiğin deneysel gözlemlerden kaynaklandığını ileri süren dünya görüşüne adanmış disiplinler arası bir forum olan Institute for Complex Adaptive Matter’a (Karmaşık Uyarlanabilir Madde Enstitüsü) aktif biçimde katılmaya da sevk etti. Bu enstitü, diğer işlevlerinin yanı sıra, bilim insanlarını çalışmalarını birbirlerine basit terimlerle açıklamaya teşvik eder (zorlar). Bu değerli uygulamayı ne kadar vsem azdır. Bu enstitünün sponsorluğunu yaptığı atölyeler ve onlar vasıtasıyla tanıştığım kişiler, bana bilim hakkında bütün diğer profesyonel faaliyetlerimin toplamından daha fazla şey öğretti.

Yazdığım sırada beni akademik grevlerimden koruyan iki kuruma özellikle teşekkür etmek istiyorum. Biri Japonya’nın Sendai şehrindeki, Kasım 2002’de araştırma iznimin bir kısmını geçirdiğim Institute for Materials Research (Malzeme Araştırmaları Enstitüsü). Profesör Sadamichi Maekawa’nın sıcak misafirperverliğini, Hirose Nehri kıyılarında pahalı suşiler ve yılan balıkları yediğimiz keyifli akşamları minnetle takdire diyorum. Diğer kurum ise şu anda misafir profesör olarak bulunduğum Seul’daki Korea Institute for Advanced Study (Kore Gelişmiş Araştırmalar Enstitüsü). Eylül 2003’te oraya geekleştirdiğim ziyaret fazlasıyla üretken oldu ve ev sahibim Profesör C.W. Kim’e bunun için –ve denediğimiz baş döndürücü çeşitlilikteki restoranlar için– büyük şükran boruyum.

Son olarak, elbette eşim Anita’ya da sonsuzmuş gibi görünen sabrı ve bana verdirdiği gerçek bir molayı, Maine’e o uzun zamandır beklediği yolculuğu yapıp ailesinin uğrak yerlerini tekrar ziyaret etme ve iyi istakozların izini sürme sözü için teşekkür etmeliyim.

¹ R.B. Laughlin ve D. Pines, *Proc. Natl. Acad. Sci.* 97, 28 (2000):

(Bir)

SINIR KANUNU

*Doğa toplu bir fıkirdir ve özü, türün her bir bire-
yinde mevcut olsa da, kusursuzluğu asla tek bir
nesnede bulunamaz.*

Henri Fuseli

Çok uzun yıllar önce, New York yakınlarında yaşarken Modern Sanat Müzesinde büyük doğa fotoğrafçısı Ansel Adams'ın bir retrospektifine katıldım. Amerika'nın Batısında doğmuş birçok kişi gibi ben de Adams'ın eserlerinden hep hoşlanmıştım ve onları New Yorklulardan daha fazla takdir edebildiğimi hissediyordum, bu yüzden kendi gözümle görme şansının üzerine atladım. Harcadığım çabaya fazlasıyla değdi. Bu görüntüleri yakından gören herkes, anında, kayalar ve ağaçların steril resimlerinden ibaret olmadıklarının, cisimlerin anlamı, dünyanın muazzam yaşı ve insan endişelerinin geçiciliği hakkında düşünceli yorumlar olduklarının farkına varır. Bu sergi, üzerimde beklediğimden çok daha güçlü bir izlenim bıraktı; bugün bile güç bir sorunla boğuştuğumda veya neyin önemli olup neyin olmadığını ayırt etmekte zorluk çektiğimde aklıma gelir.

Televizyon izleyicileri kısa süre önce, Ric Burns'ün mü-kemmel *American Experience* belgeseli sayesinde Adams'ın eserlerinin de bütün diğer sanat eserleri gibi sanatçının kendisinin olduğu kadar özel bir zamanın ve yerin yaratımı olduğunu hatırladılar.¹ 20. yüzyılın başlarında, Adams çocukken sınırın kapandığı ilan edildiğinde, Amerikalılar

¹ *Ansel Adams: American Experience*, yönetmen: Ric Burns. Daha fazla bilgi için bkz. <http://www.pbs.org/wgbh/amex/ansel>.

hararetle sınırın yitirilmesinin gelecekleri için ne anlama geldiğini tartıştılar.² Sonunda Avrupa gibi olmak istemediklerine, kimliklerinin ve genel olarak anlamlı hayatın bir kısmının vahşiliğin yakınında olduğuna karar verdiler. Böylece mecazi sınır ortaya çıktı; bugün hâlâ Amerikan kültürünü tanımlayan kovboy miti, mümkün olanın engin manzarası, sağlam birey fikri. Adams'ın bu mecazın yanında büyüterek olgunlaşan eserleri, gücünü özünde evcilleştirilmemiş vahşiliğe duyulan nostaljiyi harekete geçirmesinden alır.



Avrupa'da sınır miti çoğu zaman tuhaf bir bölgecilik şeklinde reddedilir.

Sınır miti tuhaf bir bölgecilikten ibaret değildir. Çoğu zaman ondan öyle bahsedilir; özellikle Amerika'nın Batısının mitolojik doğasının buradakine göre daha kolayca ayırt edilebildiği ve şüpheyile karşılandığı Avrupa'da bu böyledir. Bu fikrin dile getirildiğini ilk defa 1970'lerin başlarında Almanya'da

² J. M. Faragher, *Rereading Frederick James Turner* (Yale U. Press, New Haven, 1999).

konuslandırılmış bir askerken *Stern* dergisinde okuduğum Amerika'yla ilgili uzun bir makalede gördüm. Bugünlerde soğuk savaş tarihe gömülürken bu tür fikirler giderek daha sık dile getirilir oldu. Ama bu algı hatalıdır. Adams'ın görüntülerini oluşturan kültürel güçler kavşağı benzersiz biçimde Amerikalı olsa da, görüntülerin kendileri öyle değildir. Görünüşe göre bir sınır özlemi insan zihninin derinliklerinde var ve dünyanın farklı bölgelerinden ve de farklı kültürel geçmişlere sahip insanlar, onu çabucak ve sezgisel biçimde anlıyorlar. Her ülkede yüzeyi biraz kazırsanız vahşiliğin takdir edildiğini ve onunla özdeşleşildiğini görürsünüz. İşte bu yüzden Adams'ın eserleri her yerde beğeniliyor ve evrensel bir şekilde ilgi çekiyor.

Büyük bir sınır olarak bilim fikri de benzer biçimde ebedidir.³ Hâlâ birçok bilim dışı macera kaynağı olduğu açık olsa da, bilim hakiki vahşiliğin hâlâ bulunabildiği tek yerdir. Söz konusu vahşilik, görünüşe göre, modern toplumların tamamen bağımlı o parlak teknolojik fırsatçılık değil, insanlar gelmeden önce mevcut olan el değmemiş doğal dünya, görkemli dorukların altında üç sürü hayvanıyla beraber suları sıçratarak derenin karşısına geçen yalnız atının engin açıklığıdır. Ekolojilerin koreografisi, topraktaki minerallerin haşmetli evrimi, gökyüzünün hareketi ve yıldızların doğumu ve ölümüdür. Mark Twain'den değiştirerek alıntılırsak, ölümlüyle ilgili söylentiler fazlasıyla abartılıdır.

Benim uğraştığım özel bilim dalı olan kuramsal fizik olayların nihai sebepleriyle ilgilenir. Şüphesiz ki, fizikçilerin nihai sebepler üzerinde bir tekeli yoktur; zira herkes bir mertebeye kadar onlarla ilgilidir. Bunun uzun zaman önce Afrika'daki atalarımızın gerçekten nedenlerin ve sonuçların olduğu –örneğin aslanlara yakın olmakla gövdeye indiril-

³ Bilimin öncü ruhuyla ilişkilendirilmesi 1945'te Vannevar Bush tarafından Başkan Roosevelt'e sunulmuş "Science, the Endless Frontier" adındaki ünlü bir andığın ana fikridir. Bu andığ sonradan National Science Foundation'ın (Ulusal Bilim Vakfı) kurulmasına yol açmıştır. Bkz. G. P. Zachary, *Endless Frontier: Vannevar Bush, Engineer of the American Century* (MIT Press, Cambridge, Mass., 1999) ve V. Bush, *Endless Horizons* (Ayer Co. Pub., Manchester, New Hampshire, 1975).

mek arasında– fiziksel bir dünyada hayatta kalabilmek için edildiği bir özellik olduğundan şüpheleniyorum. Olayların arasında nedensel ilişkiler aramak ve ardışık etkileri olan bir kural keşfettiğimizde bayağı memnun olmak doğamızda var.⁴ Tersî bir duruma –içinden hiçbir anlam çıkaramadığımız bilgi ormanlarına– karşı sabırsız olmak da doğamızda var. Hepimiz içten içe bir nihai kuram, içinden bütün doğruların akacağı, bizi bilgilerle uğraşmanın sıkıntısından sonsuza kadar kurtarabilecek bir ana kurallar kümesi olmasını diliyoruz. Kuramsal fizik çoğu standarda göre teknik ve zor anlaşılır olsa da, onun nihai sebeplerle ilgilenmesi bilim insanı olmayan kişilere bile özellikle cazip gelmesini sağlar.

Kuramsal fizik aynı zamanda iyi haberle kötü haberin karışımıdır. Önce, insan ölçeğindeki olgular seviyesinde bir nihai kuram dileğimizin yerine geldiğini görürsünüz. Bildiğimiz kadarıyla doğal dünyadaki atom çekirdeğinden daha büyük her şeyi açıklayan bir matematiksel ilişkiler kümesine sahibiz ve bundan gurur duyuyoruz. Bunlar çok basit ve güzeldir ve de iki ya da üç satırda yazılabilirler. Ama sonra bu basitliğin son derece aldatıcı olduğunu görürsünüz; sadece bir ya da iki düğmesi olan o ucuz dijital kol saatleri gibi. Bir avuç durum dışındaki bütün durumlarda denklemlerin kullanılması şeytani derecede güç, çözülmesi ise imkânsızdır. Doğru olduklarını göstermek uzun, incelikli ve niceliksel önermeleri gerektirir. Aynı zamanda İkinci Dünya Savaşından sonra ortaya koyulmuş devasa bir çalışmalar bütününe aşina olmayı da gerektirir. Temel fikirler 1920’lerde Schrödinger, Bohr ve Heisenberg tarafından icat edilmiş olsa da, ancak güçlü elektronik bilgisayarlar geliştirildikten ve devletler teknik olarak becerikli çok sayıda insan yetiştirdikten sonra, bu fikirler çok çeşitli koşullarda deneye karşı niceliksel olarak test edilebildi. Silisyumun saflaştırılması ve atom ışını makinelerinin kusursuzlaştırılması gibi kilit teknik gelişmeler de önemliydi. Hakikaten de, soğuk savaş ve elektronik, radarın ve çeşitli pratik görünen gerekçelerle

⁴ S. J. Gould, *The Lying Stones of Marrakech* (Three Rivers Press, New York, 2000), s.147 ve sonraki sayfalar.

finansmanı kolaylaştıran doğru zaman tutmanın ekonomik önemi olmasaydı, bütün denklemlerin doğru olduğundan asla emin olamayabilirdik.

Dolayısıyla nihai kuramın keşfedilmesinden seksen yıl sonra bir güçlkle karşılaştık. Bu ilişkilerin tekrar tekrar ve ayrıntılı bir şekilde deneysel olarak onaylanması artık günlük olaylar seviyesindeki indirgemeciliğin sınırını resmen kapadı. Amerikan sınırının kapanması gibi bu da kayda değer bir kültürel olay oldu ve her yerdeki insanları bunun bilginin geleceği için ne anlama geldiğini tartışmaya sevk etti. Hatta bilimin sonuna gelindiği ve anlamlı temel keşiflerin artık mümkün olmadığı öncülünü ele alan birçok satan kitap bile var. Aynı zamanda bu denklemlerle açıklanmak için "fazlasıyla güç" bulunan çok basit şeylerin listesi de endişe verici biçimde uzamaya devam ediyor.

Biz, gerçek sınırda olup geceleri çakalların ulumasını dinleyenler, bütün bunlara gülmeden edemiyoruz. Gerçek bir sınır adamını medeniyette bulunan, süper marketin yolunu bile güç bela bulabilen insanların bakir alanlar hakkındaki içgörülerinden daha çok eğlendiren çok az şey vardır. Tarihteki bu noktayı Lewis ve Clark'ın Columbia nehrinin ağzında kışı geçirmesine büyüleyici derecede yakın buluyorum. O ikilinin grubu, dayanıklılık ve azimle bir kıta boyunca ilerlemişti, ama sonunda bu çabanın asıl kıymetinin denize ulaşmak değil, yolculuğun kendisi olduğunu keşfetmişti. O zaman resmi sınır doğayla karşı karşıya gelmekten çok mülkiyet hakları ve toprak parçası politikasıyla ilgisi olan yasal bir kurguydu. Aynısı bugün de geçerlidir. Doğası gereği vahşi olan gerçek sınırı, bakma zahmetine girerseniz, hemen kapınızın önünde bulabilirsiniz.

Sınır vahşi bir yer olsa da, kanunlarla düzenlenir. Söylenesce vahşi Batıda kanun, medeniyetin olmadığı bir yerdeki medeniyet kuvveti demekti ve çoğu zaman insan doğasının vahşiliğini irade gücüyle zapt eden kahraman bir figür tarafından uygulanırdı. Kişinin bu kanuna uyma ya da uymama seçeneği vardı, ama eğer uymazsa vurulup öldürülmesi ihtimali yüksekti. Fakat doğal kanunlar da vardır; bunlar insan-

ların onları gözlemlemesinden bağımsız olarak her zaman doğru olan şeyler arasındaki ilişkilerdir. Güneş her sabah doğar. Isı sıcak şeylerden soğuk şeylere akar. Geyik sürüleri, pumaları fark ettiklerinde her zaman kaçarlardı. Bunlar vahşilikten dışarı aktıkları ve onun sınırlanması için bir yöntem olmayıp özünü oluşturdıkları için mit kanunlarının tam tersidirler. Hakikaten de, bu şeyleri kanunlar olarak tarif etmek biraz yanıltıcıdır, çünkü başka zamanlar istediği gibi davranan doğal varlıkların uymayı seçtiği bir tür hukuku ima ederler. Bu sanı doğru değildir. Bu kanunlar doğal şeylerin var olma şeklinin bir kodlamasıdır.

Bildiğimiz önemli kanunların istisnasız hepsi tümdeğilimler değil şans eseri keşfedilmiş şeylerdir. Bu durum kişinin günlük deneyimiyle tamamen uyumludur. Dünya ölçülebilen çok yönlü düzenlilikler ve nedensel ilişkilerle doludur, zira o sayede olaylardan anlam çıkarabilir ve doğadan kendi amaçlarımız için yararlanabiliriz. Ama bu ilişkilerin keşfi sınır bozacak kadar kestirilmez ve bilimsel uzmanlar tarafından kesinlikle beklenmez. Bu sağduyulu görüş, konu daha dikkatle ve niceliksel biçimde incelendiğinde bile geçerliliğini korur. Evren üzerindeki hâkimiyetimizin büyük ölçüde bir blöf, boş teneke olduğu anlaşılıyor. Doğanın bütün önemli kanunlarının bilindiği önermesi sadece bu blöfün bir parçası. Sınır hâlâ bizimle ve hâlâ vahşi.

Bir yanda açık sınırla diğer yanda bir ana kurallar kümesi arasındaki mantıksal çelişki belirme olgusuyla çözülür. *Belirme* terimi, ne yazık ki, fiziksel kanunlarla düzenlenmeyen doğaüstü olgular da dâhil bir dizi farklı şey için kullanılır hale geldi. Ben bunu kast etmiyorum. Ben bir fiziksel örgütlenme ilkesini kast ediyorum. İnsan toplumları besbelli bireyi aşan örgütlenme kurallarına sahiptirler. Örneğin bir otomobil şirketi mühendislerinden biri kamyonun altında ezilirse yok olmaz. Japonya hükümeti bir seçimden sonra çok değişmez. Ama cansız dünyanın da örgütlenme kuralları vardır ve onlar, benzer biçimde günlük hayatlarımızda kullandığımız üst seviye fiziksel kanunların çoğu da dâhil olmak üzere, bizim için önemli olan birçok şeyi açıklarlar.

Suyun yapışıklığı ya da çeliğin sertliği gibi yaygın şeyler tipik örnekler oluşturlar, ama sayısız başka örnek de vardır. Doğa, izlenimci tabloların ilkel halleri olan son derece güvenilir şeylerle doludur. Renoir'ın ya da Monet'nin resmettiği bir çiçek tarlası bize ilginç gelir, çünkü kusursuz bir bütündür, oysa temel bileşenleri olan boya lekeleri rastgele şekillere sahip ve kusurludur. Tekil boya darbelerinin kusurluluğu bize tablo yapmanın özünün örgütlenmesi olduğunu anlatır. Benzer biçimde, bazı metallerin tam aşırı düşük sıcaklıklara soğutuldukları anda manyetik alanları itme özelliği kazanmaları bize ilginç gelir, çünkü o metali oluşturan tekil atomlar bunu yapamaz.

Örgütlenme ilkeleri –ya da daha kesin olarak onların sonuçları– kanunlar olabildiği için, bunlar kendilerini örgütleyerek yeni kanunlar, o yeni kanunlar da daha yeni kanunlar oluşturabilirler ve bu böyle devam eder. Elektron hareketi kanunları termodinamiğe ve kimyaya, onlar da kristalleşme kanunlarına, onlar da sertlik ve esneklik kanunlarına, onlar da mühendislik kanunlarına yol açtı. Dolayısıyla; doğal dünya, Jonathan Swift'in pireler toplumu ile benzerlik taşıyan bağımsız bir köken hiyerarşisidir:

*Böylece doğacılar gözlemlerler: pireden
Onunla beslenen daha küçük pireler vardır;
Bunlarda da ısırın daha da küçük pireler
Ve bu böyle sürer sonsuza dek.*

Bu örgütlenme eğilimi o kadar güçlüdür ki, temel bir kanunu, soyundan gelmiş olanlardan ayırt etmek zor olabilir. Örneğin kedilerin davranışının temel olmadığını bilmemizin tek sebebi, kedilerin, tabiri caizse, uygun işleme sınırlarının ötesine zorlandıklarında hareket edememeleridir. Benzer biçimde, atomların temel olmadıklarını bilmemizin tek sebebi, büyük hızlarla çarpıştırıldıklarında parçalanmalarıdır. Bu ilke daha küçük ölçeklerde de devam eder: Atomların yapıldıkları çekirdekler daha büyük hızlarda çarpıştırıldıklarında parçalanırlar, çekirdekten kurtarılmış parçalar daha da büyük hızlarda parçalanırlar ve bu böyle sürer. Yani doğanın

hiyerarşik bir fiziksel kanunlar toplumu oluşturma eğilimi, bir akademik tartışma noktasından çok daha fazlasıdır. Dünyanın bilinebilir olmasının sebebi odur. Bu eğilim çoğu temel kanunu –her neyseler– konu dışı hale getirir ve bizi onların kölesi olmaktan korur. Evrenin nihai gizemlerini anlamadan yaşayabilmemizin nedeni odur.

Dolayısıyla bilginin sonu ve onun simgelediği sınır, kapanması giderek yaklaşan bir kriz değil, yalnızca medeniyetin uzun geçmişindeki birçok utandırıcı kibir krizinden biridir. Sonunda o da geçip gidecek ve unutulacaktır. Bizim neslimiz sınırın örgütlenme kanunlarını anlamak için çabalayan, bunu başardığı konusunda kendini kandıran ve başarısız olmuş bir şekilde mezara giden ilk nesil değildir. Sessizce denizin çok engin, teknesinin ise çok küçük olduğu gözlemini yapan İrlandalı balıkçı gibi alçakgönüllü olmak akıllıca olacaktır. Hepimizin yaşamak, büyümek ve kendisini tanımlamak için ihtiyaç duyduğu vahşilik sapasağlam ayakta durur ve onun görkemli kanunları çevremizi sarmıştır.

(İki)

BELİRSİZLİKLE YAŞAMAK

Hız iyidir, ama isabet her şeydir.

Wyatt Earp

Genetikçi iş arkadaşım David Botstein, sık sık konferanslarına biyolojinin özünün belirsizlikle yaşamak olduğunu söyleyerek başlar. Fizikçilerden oluşan dinleyicilere bunu özellikle vurgular, çünkü onların bu kavram karşısında zorlandıklarını ve bu mesele hakkında önceden uyarılmazlarsa söylediklerinin büyük bir kısmını yanlış yorumlayacaklarını bilir. Bana bu tür dinleyiciler hakkındaki düşüncelerini hiç açıklamadı, ama ben çoğu biyoloğun fizikçilerin kesinlik ve doğruluk takıntısını çileden çıkaracak kadar çocukça bulduğunu ve sınırlı zihinsel kabiliyete sahip olmalarının bir kanıtı olarak gördüğünü biliyorum. Bunun tersine, fizikçiler belirsizliği hoş görmeyi ikinci sınıf deneyler yapmanın mazereti ve potansiyel bir yanlış iddia kaynağı olarak görürler. Bu kültürel farklılıklar iki bilimin tarihi gelişiminden kaynaklanır (fizik ve kimya mühendislikle beraber gelişmiş, biyolojiye tarım ve tıptan gelmiştir) ve genel olarak toplumumuzdaki neyin gerçek ve önemli olduğuna dair farklılıkları yansıtır. Ama bu farklılıklar yüzünden, şu anda fizikçilerle biyologlar arasında yararlı iletişim nispeten azdır.

Bu iletişim sorununun bir versiyonu zaman zaman eşimle –tipik olarak para konusunda– yaptığımız konuşmalarda ortaya çıkar. Eşim, çoğunlukla gelişigüzel bir şekilde tek başına satın alamayacağı aşırı derecede pahalı bir şey almamızı önererek konuşmaya başlar. Sonra ben, işin köküne indiğini düşündüğüm sorular sorarım, ne kadar faiz

ödeyeceğimiz ya da toplam nakit akışımızın nasıl etkileneceği gibi. O da çekilmez biri olduğumu, çünkü her şeyi gri değil, siyah-beyaz gördüğümü söyleyerek karşılık verir. Ben de yalnızca sorunu çözmeye çalıştığımı söylerim. O da aşırı basitleştirdiğimi iddia eder. Dünyanın her zaman kesin olmadığını, incelikli olduğunu ve her şeyi kategorilere ve de kutulara ayırma ısrarımın gerçek dışı olduğunu söyler. Ben de hapse düşmek ve iflas etmekten kaçınmanın hiç de gerçek dışı olmadığı cevabını veririm. Bu varoluşsal fikir alışverişinin süresi, ne kadar paranın söz konusu olduğuna bağlıdır, ama sonunda bir tür ödünle biter. Tartışmamız, şüphesiz ki, dünya görüşleri ve gerçeklik hakkında değil, kaynakların kontrolü hakkındadır. Ben ailenin ahlak kuramcısıyım, bu yüzden doğal olarak kazanmaktan çok kaybetme eğilimindedir.

Fizikçiler neyin doğru olup neyin olmadığıyla ilgili mutlak beyanlardan hoşlanmazlar. Ölçümlerin asla kusursuz olmadığını biliriz, bu yüzden de belirli bir ölçümün *ne kadar* doğru olduğunu bilmek isteriz. Bu iyi bir uygulamadır, çünkü herkesin dürüst olmasını sağlar ve araştırma raporlarının dejenere olup palavralara dönmesini önler. Fakat bu kibirli tutumumuz çok daha kolay anlaşılır bir şeyle çelişir: Nesneleri doğru ölçme dürtüsü, kendi kendine tamiratlar yapma dürtüsüyle aynıdır. Gerçekte bizi cezbeden şey yüksek idealler değil, kablolar ve göstergelerle dolup taşan parlak karmaşık makineler ve müzik setinde yüksek sesle rock 'n' roll çalarken kahve içerek gece boyu bilgisayar başında kalmaktır. Devasa X-ışını tüpleri, tüten lehim havayaları, nötronların çıkacağı deşiklere sahip nükleer reaktörler, son derece tehlikeli kimyasallar ve üzerinde "sağlam kalmış gözünüzle lazerin içine bakmayın" gibi şeyler yazılı yararlı tabelalardır. Bu, aynı zamanda temel olarak bir sorun çözme stratejisi meselesi, haritaları okuyamayan kadınlar ve yol sormayı reddeden erkeklere dair bütün o şakaların kaynağı olan, cinsiyete bağlı olmasıyla kötü bir şöhet kazanmış özelliktir.¹

¹ Erkeklerin ve kadınların farklı biçimde yol bulma eğilimleri, evli çiftler arasındaki kötü şöhetli bir şakadır. Hatta fonksiyonel maniyetik rezonans

MIT'deki (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü) binaların ve akademik ana dalların isimlerden çok numaralarının olmasının sebebidir. Onuncu binayı, on üçüncü binayı ve sekizinci dersi yaratmakta bir gariplik görmeyen insanlar için, hassas ölçüm bir doğal davranıştan ibarettir. Kendi adıma bütün bunlar gayet uygundur, ama herkese göre değildir.

Biz teknolojik insanlar için, bu dürtüye boyun eğmenin tatmin edici yanlarından biri, giderek daha hassas ölçmenin ortaya çıkardığı anlamlar dünyasıdır. Örneğin yüz bin parçada birlik bir hassasiyette bir tuğlanın uzunluğunun bir günden diğerine aynı kalmadığı keşfedilir. Çevresel faktörlerin kontrol edilmesi, bunun sebebinin tuğlanın hafifçe genleşip büzülmesine neden olan sıcaklık varyasyonları olduğunu açığa çıkarır. Tuğla bir termometre haline gelmiştir. Bu gözlem aptalca değildir; çünkü termal genleşme bütün yaygın termometrelerin ardında yatan ilkedir.² Benzer hassasiyetteki bir ağırlık ölçümü bir varyasyon göstermez; bu da kütlenin korunumu kavramına yol açan birçok gözlemden biridir. Ama yüz milyon parçada birlik bir hassasiyette, tuğlanın ağırlığı bir laboratuvarından diğerine kısmen farklılık gösterir. Tuğla şimdi bir kütleçekim ölçer olmuştur; zira bu, dünyanın yüzeyinin hemen altındaki farklı kayaç yoğunlukları nedeniyle kütleçekim kuvvetinin hafifçe değişmesinin bir etkisidir.³ Tuğlayı bir halata bağlayıp tavandan sarkıtmak onu bir sarkaca dönüştürür; bu sarkacın sallanma oranı da kütleçekim kuvvetinin bir ölçüsüdür. Sallanmanın aşırı kararlılığı, mekanik saatlerin sarkaç düzenlemesinin altında yatan ilkedir.⁴ Eğer tavan yüksek, kütle büyükse ve kancaya

nans görüntülemelerin elde edilmiş, bunun fizyolojik kökeni olduğunu gösteren kanıtlar bile vardır. Bkz. G. Grön vd., *Nature* 3, 404 (2000)

² Ev termostatlarındaki iki metalli şeritler birçok termometre türünden yalnızca biridir. Bkz. J. F. Schooley, *Thermometry* (CRC Press, Boca Raton, FL, 1986).

³ Kütleçekim kuvveti jeologlar tarafından rutin olarak geleneksel ağırlık ve yaylar kullanan aletlerle yüz milyonda bir parçalık hassasiyetlerle ölçülür. Bkz. W. Torge, *Geodesy*, 3. Baskı (Walter de Gruyter, Berlin, 2001).

⁴ Christiaan Huygens 1656'da mevcut bir saat mekanizmasını düzenlemek için Galileo'nun sarkacını kullanarak sarkaçlı saati icat etti. İlk saatinin, günde en fazla bir dakika sapan bir hassasiyeti vardı. Daha sonra bunu,

sarkacın durmasını önleyen elektrikli bir güçlendirici takılmışsa, sallanmanın düzleminin dünyanın dönüşüne tepki olarak döndüğü ve bu dönüşün oranının enlemin bir ölçüsü olduğu gözlemi yapılabilir.⁵ Teknik olmayan insanlar bu ölçüm takıntısını sinir bozucu bulsalar da ürettiği kullanışlı yeni teknolojiler nedeniyle ona katlanırlar.

Öte yandan, fizikçiler olaya ahlaki açıdan bakma eğilimindedirler. Hayatlarını, dünyanın kesin ve düzenli olduğu ve de arada bir bu vizyona uygun düşmediği hallerin yeterince hassas biçimde ölçmemiş ya da sonuçlar hakkında yeterince dikkatle düşünmemiş olmalarının getirdiği bir yanlış algılama olduğu varsayımına göre yönlendirirler. Bu, kimi zaman acı-tatlı sonuçlara yol açar. Boşanma avukatı olan kayınbiraderim en çileden çıkarıcı müvekkillerinin tipik olarak sadece aile varlıklarını alt alta yazmak, onları eşit olarak bölmek, el sıkışmak ve işi bitirmek isteyen Silicon Vadisi mühendisleri olduğunu söyler. Sabırla olayın o kadar kolay olmadığını, insanların stresli durumlarda sık sık yalan söylediklerini ve manipölasyon yaptıklarını, kişinin bazen kendini kandırabildiğini, varlıkların değerinin mutlak olmadığını, pazarlık yapılması gerektiğini ve geriye karmaşık sözleşme yükümlülükleri kalacağını vs açıklaması gerekiyormuş. Bu daha basit bakış açısının yanlış olduğunu değil sadece her zaman pratik olmadığını gösterir.

günde en fazla on saniyeye indirdi. Huygens ayrıca 1675'te denge tekerleğini ve yaylı montaj grubunu da icat etti. *Bkz. J. G. Yoder, Unraveling Time: Christiaan Huygens and the Mathematization of Nature* (Cambridge U. Yayınları, Cambridge, 2002).

- ⁵ Léon Foucault 60 metre uzunluğundaki bir telden ağır bir demir topu sallandırarak dünyanın dönüşünü ölçtü ve 1855'te bu başarısı karşılığında Royal Society'den (Kraliyet Derneği) Copley madalyası aldı. Ayrıca Fizeau ile beraber ışık ve ısı üzerine çalıştı ve döner bir ayna kullanarak çeşitli ortamlarda ışığın hızını ölçtü ve bu, hızın kırılım indisisiyle ters orantılı olarak değiştiğini gösterdi. Foucault sarkacı bütün temel mekanik metinlerinde açıklanır. *Bkz. Ap P. French, Newtonian Mechanics* (W. W. Norton, New York, 1971). Amatör bir Foucault sarkacı yapmak C. L. Stong, *Scientific America* 198, 115'te (1958) açıklanır. Özgün referans M. L. Foucault, "Démonstration du Mouvement de Rotation de la Terre moyen du Pendule," *Comptes Rendus Acad. Sci.* 32,5'tir (1851). Ayrıca *bkz. <http://www.calacademy.org/products/pendulum.html>*.

Son üç yüzyılda ayrıntılara gösterilen takıntılı özen, yavaş yavaş bazı fiziksel niceliklerin yalnızca bir deneyden diğerine hassas biçimde tekrar üretilebilir olmakla kalmadığını, tamamen evrensel olduğunu açığa çıkardı. Bu son derece hayret verici ve rahatsız edicidir. Bu niceliklerin aşırı güvenilirliği ve doğruluğu, statülerini sadece yararlı gerçekten bir çeşit ahlaki kesinliğe yükseltir. Birçok kişi, sayıları ahlaki açıdan düşünmekten rahatsız olur, ama olmalarına gerek yoktur. Arabamla saatte altmış kilometreyle giderken bir köpeğe çarparsam, saatte iki kilometreyle giderken çarp-mama göre farklı sonuçlar doğacaktır. Bu nicelikler ne kadar dikkatle ölçülürse, teknik kapasitenin sınırları nefes kesici biçimlerde zorlanırken, evrensel değerleri o kadar hassas biçimde öğrenilir; bu, günümüzde hâlâ devam eden bir süreçtir. Bu keşiflerin derin anlamı hâlâ tartışılmaktadır, ama herkes onların önemli olduğunda hemfikir, zira böyle bir kesinlik doğada yaygın değildir ve açıklamayı gerektirir.

Böyle evrensel bir niceliğin bilinen bir örneği ışık hızıdır. On dokuzuncu yüzyılın sonlarında, dünyanın güneş etrafındaki yörüngesindeki hareketini, dünyadaki bir gözlemci tarafından görülen ışık yayılması üzerindeki etkisi yoluyla ölçmeye yönelik giderek artan bir ilgi vardı. Bu, o zaman için göz korkutucu bir teknik zorluktu, çünkü ışık hızını milyarda bir parçalık bir hassasiyetle ölçmeyi gerektiriyordu. Bunun başarılması, fizikçilerin kamp ateşlerinde tekrar tekrar anlatılagelmiş şahane bir öyküdür; ama şu an için aynalarda gerçekleştirildiğini söylemekle yetinelim.⁶ 1891 itibarıyla bu etkinin sesle ve dünyanın yörüngesindeki bilinen hızıyla kurulan bir analogiye dayalı olarak olması gerekenden en az iki

⁶ Bu deneylerin en iyi bilineni Albert Michelson'un yaptığı, daha sonra Michelson ve Morley tarafından iyileştirilmiş girişim ölçerli ölçümdür. Michelson bu ölçümle 1907'de Nobel Ödülünü almıştır. Bkz. A. A. Michelson, *Studies in Optics* (Univ. of Chicago Press, Chicago, 1962. Michelson-Morley deneyinde daha sonra yapılan iyileştirmelerin mükemmel bir değerlendirmesi R. Shankland vd., *Rev. Mod. Phys.* 27, 167'de (1955) bulunabilir. Özgün referanslar A. A. Michelson, *Am J. Sci.* 22, 20 (1881) ve A. A. Michelson ve E.W. Morley, age. 34'tür (1887). Ayrıca bkz. E. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity: The Classical Theories* (Nelson and Sons, Londra, 1951)

kat az olduğu anlaşılmıştı. 1897’de bu fark kırk kata çıktı; bu, ilgisiz ya da deney hatası diye reddedilemeyecek kadar büyük bir uyumsuzluktu. Işık hızında dünyanın hareketi nede niyle olması beklenen değişiklik mevcut değildi. Bu bulgu, sonradan Albert Einstein’ı ışık hızının temel olduğu ve hareketli cisimlerin hızları arttıkça kütlelerinin de artması gerektiği sonucuna ulaşmaya sevk etti.

Kesin bir şekilde ölçülebilen evrensel niceliklerin varlığı fizik biliminin çapasıdır. Bazen esas gerçeği unutmak kolaydır, zira fiziğin temelleri öyle uzun zamandır bizimledir ki birçoğu kemikleşerek klişelere dönüşmüştür. Ama mesajları hakkında ne düşünürsek düşünelim, postmodern felsefeciler doğru ve içgörülü bir şekilde bilimsel kuramların her zaman öznel bir bileşenin olduğu ve bunun hem nesnel gerçekliğin bir kodlaştırması hem de o zamanın bir eseri olduğunu anladılar.⁷ Otto von Bismarck’ın ünlü sözü, “Kanunlar sosisler gibidir, yapılaşlarını görmemek en iyisidir,” bilimsel kuramlar için daha da kusursuz biçimde geçerlidir; en azından benim deneyimim o yöndedir. Bütün insan faaliyetlerinde olduğu gibi bilimde de zaman zaman durumu değerlendirmek ve neyi derinlemesine anlayıp neyi anlamadığını düşünmek gerekir. Fizikte bu yeniden değerlendirme, neredeyse her zaman kesinlik ölçümüne karşılık gelir. Her fizikçi, içten içe ölçüm hassasiyetinin gerçekle hayal edileni birbirinden ayırt etmenin, hatta gerçeğin ne anlama geldiğini tanımlamanın tek güvenilir yolu olduğuna inanır. On milyarda bir parçaya kadar ölçülen evrensel bir sayı hakkında postmodern endişelere kapılmaya gerek yoktur.

⁷ Postmodern bilim felsefesinin muazzam bir literatürü vardır. En fazla alıntılanan eser muhtemelen J.-F. Lyotard, *The Postmodern Condition: A Report on Knowledge*’dır (U. of Minnesota Press, Minneapolis, 1984). Ayrıca bkz. H. Lefebvre, *Introduction to Modernity: Twelve Preludes* (Verso, Londra, 1995); ve M. Foucault, *The Order of Things: An Archaeology of the Human Sciences* (Random House, New York, 1994). Ayrıca büyük bir postmodernizm karşıtı literatür de vardır. Örneğin bkz. N. Koertse, *A House Built on Sand: Exposing Postmodernist Myths about Science* (Oxford U. Press, Oxford, 1998) A. D. Sokal ve J. Bricmont, *Fashionable Nonsense: Postmodern Intellectuals’ Abuse of Science*’taki (St. Martin’s Press, New York, 1998) Sokal hilesinin hikâyesi.

Fizikçiler partilerde bir araya gelip, teklifsiz bir şekilde önem verdikleri şeyler hakkında konuştuklarında en sevindikleri konulardan biri modern tungsten filamanlı elektrik lambasının mucidi Irving Langmuir'in sahte bilim konusunda verdiği ünlü bir konferanstır.⁸ Bu konferans bilimsel sahtekârlık ve dalaverelerle ilgili mükemmel vaka geçmişleri sunar, ama daha da önemlisi ana mesajdır: Fizikte doğru algılamalar, hatalı olanlardan yalnızca deneysel hassasiyet artırıldığında daha açık hale gelmeleriyle ayrılırlar. Bu basit fikir, fizikçinin zihninin özünü yakalar ve fizikçilerin her zaman matematiğe ve sayılara bu kadar takıntılı olmasının nedenini açıklar: Kesinlik vasıtasıyla yanlışlık açığa çıkarılır.

Bu tutumun hemen göze çarpmayan ama kaçınılmaz bir sonucu, gerçekte ölçüm teknolojisinin ayrılmaz bir şekilde bağlı olmasıdır. Tam olarak neyi ölçtüğünüz, makinenin nasıl işlediği, hataları nasıl ortadan kaldırdığınızı, hangi kontrol edilmeyen faktörlerin tekrarlanabilirlik üst sınırını belirlediği ve benzeri unsurlar sonuçta altta yatan kavramdan daha önemlidir. Halkın önünde bu evrensel niceliklerin kaçınılmazlığından söz ederiz; ama kendi aramızda, nasıl hisselerden para kazanmaktan bahsetmeyi profesyonellik dışı görüyorsak, neyin evrensel olması gerektiğini bahsetmeyi aynı şekilde profesyonellik dışı görürüz. Deneyi gerçekten yapmanız gerekir. Bu uygulama en kötü cinsten bilgiçlik gibi görünebilir, ama aslında sağduyudan ibarettir. Birçok kere insanların evrensel zannettiği şeylerin evrensel olmadığı, insanların değişken zannettiği şeylerin ise değişmediği anlaşıldı. Buna uygun olarak, evrensel niceliklerden söz ettiğimizde gerçekte onları ölçen deneyleri kastederiz.

Bu nedenle; aşırı derecede hassas olan bir avuç deney, fizikte boyutunu çok aşan bir öneme sahiptir. Nasıl sayıldığına bağlı olarak on ile yirmi arası böyle deney vardır ve

⁸ Irving Langmuir'in konferansı "Patolojik Bilim" 18 Aralık 1953'te Knolls Araştırma Laboratuvarında verildi. Bu konferansın bir transkripti R. L. Park, *Voodoo Science*'ta (Oxford U. Press, Londra, 2000) bulunabilir. Ayrıca bkz. <http://www.cs.princeton.edu/~ken/Langmuir/langmuir.htm>.

bunların hepsine saygı duyulur.⁹ Bu özel deneyler, çoğu uzman olmayanlar tarafından bilinmez. On trilyonda bir parçadan daha iyi bir hassasiyetle bilinen vakumda ışık hızı vardır. Ayrıca seyreltik atom buharlarından yayımlanan ışık dalga boylarının kuantumlarını belirleyen ve yüz trilyonda bir parçalık hassasiyetle bilinen atom saatlerinin güvenilirliğinden sorumlu olan sayı, yani Rydberg sabiti vardır. Bir başka örnek belli türdeki bir metalik sandviçe uygulanan gerilimle yayımladığı radyo dalgalarının frekansını ilişkilendiren sayı olan ve yüz milyonda bir parça hassasiyetinde bilinen Josephson sabitidir. Bir başkası da, özel olarak tasarlanmış bir yarı iletkeninden geçirilen elektrik akımını mıknatıs yoluyla doğru açılarda indüklenen gerilimle ilişkilendiren, on milyarda bir parçalık hassasiyetle bilinen von Klitzing direncidir.

Paradoks şudur ki, bu son derece tekrarlanabilir deneyler bizi neyin temel olduğuyla ilgili olarak birbiriyle uyumsuz iki farklı biçimde düşünmeye iter. Bunlardan biri, kesinliğin karmaşık, belirsiz dünyamızı oluşturan ilkel yapıtaşları hakkında bir şey açığa çıkardığıdır. Böylece ışık hızının sabit olduğunu, çünkü sadece öyle olduğunu ve ışığın daha basit bir şeyden oluşmadığını söyleriz. Bu düşünce süreci bizi bu son derece hassas deneyleri bir avuç "temel" denilen sabite indirgemeye sevk eder. Diğer, kesinliğin bir örgütlenme ilkesi nedeniyle var olan toplu bir etki olduğudur. Bunun bir örneği hava gibi bir gazın basıncı, hacmi ve sıcaklığı arasındaki ilişkidir. Seyreltik gaz kanununu niteleyen evrensel sayı bir milyonda bir parçalık hassasiyetle bilinir, ama gaz örnekleri çok küçük olduğunda çok hatalı hale gelir ve birkaç atom seviyesinde ölçülebilirliğini yitirir. Bu büyüklük duyarlılığının sebebi sıcaklığın tıpkı pazardaki konut talebi gibi büyük bir örneğin tanımlanmasını gerektiren istatistiksel bir özellik olmasıdır. Bu iki fikri uzlaştırmanın yolu yoktur, birbirlerinin tam tersidirler. Ama ikisini de *temel* sözcüğüyle tarif ederiz.

⁹ P. J. Mohr ve B. N. Taylor, *J. Phys. Chem. Ref. Data* 28, 1713 (1999); *Rev. Mod. Phys.* 72, 351 (2000); <http://physics.nist.gov/constants>.

Bu ikilem elbette yapaydır. Yalnızca toplu fikir doğrudur. Bu aşikâr değildir, hatta bazı fizikçiler tarafından şiddetle inkâr edilecektir, ama deneylerin kendileri ve nasıl işlediği hakkında ciddi biçimde düşünüldüğünde açık hale gelir.

Toplu kesinlik bilim insanı olmayanların kavramakta zorluk çektiği bir kavram olma eğimindedir, ama öyle olmalıdır. Günlük hayatta onun birçok bilindik örneği vardır; örneğin işe gidip gelme. Güneş sabahleyin doğar; bu, dünyanın ilkel hareketiyle, güneşin müthiş ısı kapasitesiyle ve benzer şeylerle ilgili güvenilir bir gerçektir. Ama bir başka, aynı derecede önemli gerçek vardır, o da şudur: Yollar ve trenler günün belli zamanlarında hep tıka basa işe gidip gelenlerle doludur, dahası belli bir saatte işe gidip gelenlerin sayısı tahmin edilebilirdir. Kesinlikle bütün bu işe gidip gelen kişilerin aynı gün midesini üşütüp evde kalması ihtimali vardır, ama bu ihtimal o kadar azdır ki fiilen sıfırdır. İşe gidip gelme durumu çok sayıda bireyin hayatını sürdürürken verdiği karmaşık kararlardan ortaya çıkan basit, güvenilir bir olgudur. Sabah 8.15'te trafiğin feci olacağını anlamak için çeşitli bireylerin kahvaltıda ne yediklerini, nerede çalıştıklarını, kaç çocukları olduğunu ve isimlerinin ne olduğunu vb bilmek gerekmez. İşe gidip gelme trafiği seyreltik gazın davranışı gibi toplu bir kesinliktir. Güneşin doğuşu kadar güvenilir olup olmadığı, nihayetinde deneyle tespit edilmelidir; ama benim işe gidip gelme deneyimlerim öyle olduğunu söylüyor.

İndirgemeci etki taklidi yapan toplu etkinin güzel bir örneği, atom spektrumunun niceliğidir. Işık seyreltik atom buharlarından özel dalga boylarıyla yayımlanır. Bu dalga boyları dış etkilere o kadar duyarsızdır ki saatleri yüz milyarda bir parçaya kadar hassas hale getirmek için kullanılabilirler, fakat on milyonda bir parçada –saatin zamanlama hatasından on milyon kat büyük– tespit edilebilen, fakat atom dışında hiçbir şey içermeyen ideal bir dünyada var olmaması gereken bir kaymaya sahiptirler.¹⁰ Sonra, zor ama iyi kontrol

¹⁰ Toplu halde kuantum elektrodinamiği olarak bilinen bu etkilerle ilgili çok büyük bir literatör vardır. Bunların en ünlüsü Lamb kaymasıdır. *Bkz.*

edilen hesaplar, bu kaymanın uzay vakumunun elektriksel bir etkisi olduğunu ve bir elektronun bir madeni telin ya da bilgisayar yongasının içinde hareket ederken karşılaştığı etkiden çok farklı olmadığını açığa çıkardı. Bir başka deyişle, görünüşte boş olan uzay vakumu pek boş değil, "ıvır zıvır"la doludur. Madde yanından geçtiğinde onun ortak hareketi maddenin özelliklerini hafifçe değiştirir, tıpkı bir pencere camı parçasındaki elektron ve atomların ortak hareketinin camdan geçen ışığın özelliklerini değiştirerek kırılmasına neden olması gibi. Bu yüzden, bu atom deneylerinin aşırı tekrarlanabilirliği ve güvenilirliği can alıcı bir şekilde sebebi bilinmeyen bu "ıvır zıvır"ın düzgünlüğüne bağlıdır. Bu düzgünlüğe makul bir açıklama getirmek modern fiziğin ana sorunlarından biri ve şişmeye dayalı evrenbilimlerin (doğası gereği beliren* evrenlere dair kuramların) başlıca amacıdır.¹¹ Yani atom spektrumunun sürekliliğinin bile aslında toplu bir kökeni vardır; bu durumda bu toplu olgu evrenin kendisidir.

Çok daha acil ve sıkıntı verici bir toplu olma durumu, elektron yükünün ve Planck sabitinin makroskobik ölçümler yoluyla tespit edilmesidir. Elektron yükü elektriğin bölünmez birimidir. Planck sabiti momentumla uzunluk arasındaki, maddenin dalga yapısını niteleyen evrensel ilişkidir. Her ikisi de son derece indirgemeci kavramlardır ve her ikisi de geleneksel olarak atomlardan koparılmış tekil elektronların özelliklerini ölçen dev makinelerle tespit edilir. Ama sonuçta en hassas tespitlerinin bu makinelerden değil, ölçmek için kriyojenik bir buzdolabı ve bir voltmetrorenin yeterli olduğu Josephson ve von Klitzing sabitlerinin birleştirilmesinden elde edildiği anlaşıldı.¹² Bunun keşfedilmesi büyük bir sürpriz oldu, çünkü üzerinde Josephson ve von Klitzing ölçümle-

W. E. Lamb ve R. C. Retherford, *Phys. Rev.* 79, 549 (1950); age. 81, 222 (1951).

* Inherently emergent –yn.

¹¹ A. H. Guth ve A. P. Lightman, *The Inflationary Universe* (Perseus Publishing, Cambridge, Massachusetts, 1998).

¹² Josephson ve von Klitzing sabitleri $KJ = 2e/h$ ve $RK = h/e^2$ 'dir, burada e elektron yükü, h de Planck sabitidir.

rinin yapıldığı örnekler oldukça kusurluydu. Kimyasal saf-sızlıklar, yanlışı yerdeki atomlar ve tanecik sınırları ve yüzey morfolojileri gibi karmaşık atom yapıları bol bol vardı ve bildirilen hassasiyet seviyesindeki ölçümleri bozmaları gerekirdi. Bozmamaları güçlü örgütlenme ilkelerinin işlediğini *ispat eder*.

Fizikçilerin temel sabitlerin ölçümlerinin toplu yapısından nadiren söz etmelerinin sebeplerinden biri, bunun derin bir biçimde sıkıntı verici sonuçlarının olmasıdır. Fiziksel dünyaya dair bilgilerimiz deneysel kesinliğe dayalı olduğu sürece, en büyük gerçeği en kesin ölçümle ilişkilendirmemiz mantıklıdır. Ama bu keşif, toplu bir etkinin kökünden geldiği mikroskobik kurallardan daha gerçek olabileceği anlamına gelecektir. En başında asla indirgemeci bir tanıımı bulunmayan bir nicelik olan sıcaklık söz konusu olduğunda, bu sonucu anlamak ve kabul etmek kolaydır. Her fizikçi, ısının sıcak şeylerden soğuk şeylere akma eğiliminin çok genel olduğunu ve sistem aşırı küçültülmediği sürece mikroskobik özelliklerden biri köklü bir şekilde değiştirildiğinde, örneğin evrendeki bütün atomların kütleleri iki katına çıkarıldığında değişmeyeceğini bilir. Ama elektron yükü başka bir meseledir. Bu yükü, doğanın mantıklı olmak için hiçbir ortak bağlamı gerektirmeyen bir yapıtaş olarak düşünmeye alışkınız. Elbette söz konusu deneyler bu fikri çürütür. Elektron yükünün *sadece* toplu bir bağlamda mantıklı olduğunu açığa çıkarırlar. Bu toplu bağlam ya bu yükü atom dalga boylarını değiştirdiği gibi değiştiren uzay vakumu ya da vakumun etkilerinin yerine geçen bir maddeyle sağlanabilir. Dahası, maddenin vakumun yerine geçme kabiliyeti burada işleyen örgütlenme ilkelerinin de vakumda işleyenlerle aynı olmasını gerektirir, zira aksi takdirde bu etkiler mucize olurdu.

Elektron yükü bilmecesinin eşsiz olmadığı ortaya çıktı. *Bütün* temel sabitler anlamlı olmak için çevresel bir bağlamı gerektirirler. Pratik bir mesele olarak fizikte indirgemeci niceliklerle beliren nicelikler arasında ayırım mevcut değildir. Bu sadece insanların kimi zaman cansız nesnelere atadığımız cinsiyetlere benzeyen sanatsal bir icadıdır.

Örgütlenme üzerinden kesinliğin belirmesi fikri modern biyoloji kültürüne derinlemesine işlemiştir ve yaşam bilim-lerindeki iş arkadaşlarımızın belirsizliğe karşı toleranslarını beyan etmeye bu kadar hevesli olmalarının sebeplerinden biridir. Bu meseleyi kavramış gibi görünmelerini sağlar. Böyle ifadelerle asıl kastettikleri, mikroskobik belirsizliğin önemli olmadığı, çünkü örgütlenmenin daha sonra daha yüksek bir seviyede kesinlik oluşturacağıdır. Şüphesiz ki bir başka sebep de, kesenin ağzının açılmasını istemeleridir; bu da, eşimin o para harcama tartışmalarında kullandığı politik stratejidir. Her iki durumda da bu toleransları görüldüğü haliyle kabul edilmemelidir. Gerçekten biyolojinin özü belirsizlik olsaydı, biyoloji bilim olmazdı.

Tersine, fizikte kesinliğin kökeni ve anlamı konusundaki derin ideolojik anlaşmazlık hâlâ çözülemedi. Bunun yerine o konuda konuşmamayı kabul ettik. Bu ödün Deng Xiaoping'in ünlü "bir kedi fare yakaladığı sürece siyah mı beyaz mı olduğu fark etmez" sözünü akla getirir.¹³ Kendini adanmış bir indirgemecinin toplu ilkelerin temel doğasıyla ilgili kanıtları aslında bu deneylerin tekrarlanabilirliğini açıklayan mikroskobikten gelen tündengelimli bir yol olduğu gerekçesiyle reddetmesi az rastlanan bir şey değildir. Fakat bu yanlışır. Örneğin sıcaklığın mikroskobik açıklamasının eşit a priori olasılık ön doğrusu adı verilen mantıksal bir adımı vardır. Bir çeşit atomlara özgü Murphy kanunu olan bu adım tündengelimle bulunamaz ve termodinamikten sorumlu örgütlenme ilkesinin özlü bir ifadesidir.¹⁴ Josephson ve von

¹³ Deng Xiaoping ile ilgili literatür engin ve tarihi olaylar ışığında karmaşıktır. Bkz. M. J. Meisner, *The Deng Xiaoping Era: An Inquiry into the Fate of Chinese Socialism*, 1978–1994 (Hill ve Wang, New York, 1996).

¹⁴ Murphy kanunu bir şeyin ters gitme ihtimali varsa ters gideceğini söyler. ABD Hava Kuvvetleri Uçuş Test Merkezi Tarihi Bürosuna göre Murphy kanunu 1949'da Edwards Hava Kuvvetleri Üssünde doğdu. Bu kanun, ismini bir insanın bir kazada ne kadar ani yavaşlamaya dayanabileceğini bulmayı amaçlayan bir projede çalışan bir mühendis olan Yüzbaşı Edward A. Murphy'den alır. Bkz. A. Block, *Murphy's Law and Other Reasons Why Things Go Wrong* (Price Stern Sloan Pub., Los Angeles, 1977); ve http://www.edwards.af.mil/history/docs_html/tidbits/murphy's_law.html.

Klitzing etkilerinin görünürde tûmdengelimli olan açıklamalarının her zaman örgütlenme ilkelerinin gerçek olduğunun varsayıldığı "sezgisel olarak aşıkâr" bir adımı vardır. Elbette bu ilkeler hakikaten doğrudur, yani bu akıl yürütme de doğrudur, ama bu doğruluk akıl yürütenin kastettiği anlamda olmak zorunda değildir. Kuramcılar indirgemeci kültürü dikkate alarak bu etkilere gösterişli isimler takarlar, ama yakından incelendiğinde bu isimlerin deneylerin kendilerinin eşanlamlılarından ibaret olduğu ortaya çıkar. Her iki durumda da ölçümün büyük hassasiyeti kuramsal olarak tahmin edilmemiştir.

Hakkında konuşmadığınız diğer şeyler gibi, neyin temel olduğuyla ilgili belirsiz düşünceler de daha sonra geri dönüp başınıza bela olabilir. Bu düşüncelerin en sinsi etkisi bizi giderek daha küçük ölçeklerde mevcut olmayan bir anlam aramaya sevk ederek çöle sürüklemesidir. Bu benim için büyük bir sorundur; kuşkusuz kültürel nedenlerle. Benim yetiştığım kurak bölgede çöl ciddiye alınır.

Büyük büyük dedelerimden biri gençken Santa Fe Keçiyo-lu üzerinden California'ya gelmiş ve yol boyunca başından geçenleri bir günlüğe yazmış. Günlüğe göre, o ve grubu New Mexico'da bir yerlerde ölümle burun buruna gelmişler. Erzak ile su almak ve çölü geçebilmek için yol sormak üzere küçük bir kasabada durmuşlar. Yol tarifini aldıktan sonra çöle girmişler, ilk su kuyusuna ulaşmışlar ve kuruduğunu görmüşler. Sonra iki gün daha devam etmişler, ikinci su kuyusunu bulmuşlar ve o da kuru çıkmış. Ardından iki gün daha gitmişler ve bir başka kuru su kuyusu bulmuşlar. Bu noktada, o kasabadaki insanların onları öldürmek istedikleri açık hale gelmiş, bu yüzden grup bir toplantı yapmış ve tehlikeli bir eyleme girişmiş. Erkekler atları arabalardan ayırmışlar, kadın ve çocukları bütün erzakla beraber çölde bırakmışlar, kasabaya geri dönmüşler, saldırmışlar ve suyu geri götürmüşler. Hikâyenin mutlu bir sonunun olduğu ortada, ne de olsa ben buradayım.

Görünüşte en mantıklı bilim insanları olan fizikçilerin bile kesin ölçülerden geçersiz sonuçlara ulaşabildiğine dair

kanıtlar olsa da, hassaslık ve kesinlik olmazsa olmaz bilimsel değerler olmayı sürdürecektir, çünkü ölçüm ve yorumda kesinlik için çabalamak evreni düzenleyen örgütlenme ilkelerini açığa çıkarmak için sahip olduğumuz tek sağlam mekanizmadır. Teknik bilgi de bütün diğer bilgi türleri kadar politik heveslere açıktır ve bilime özel statüsünü ve de otoritesini veren tek şey, kesinlik çapasıdır. Kesinlik için çabalamak eski kafalı fizikçilerin desteklediği, geçmiş çağlara ait bir tarih yanılgısı değil, bilimin ahlaki çekirdeğidir. Eski dinler gibidir; arada bir sinir bozucu ve bıktırıcı olabilir, ama asla ilgisiz değildir. Hepimiz ve belki de bütün canlılar bilimin bize açık etmeyi uygun gördüğü, özellikle güvenilir şeyleri, belirsiz bir dünyada ilerlemek için yol gösterici olarak kullanırız. Hayatın bütün diğer yönleri gibi, bir bedenin yapabileceği en kötü şeylerden biri bir yanlışı doğru olarak kategorize ederek bu sistemin zayıflamasına izin vermektir. Öyle yapmak, sistemin kişinin ona en ihtiyaç duyduğu can alıcı anda başarısız olmasıyla ve kişinin yolunu kaybetmesiyle sonuçlanacaktır.

(Üç)

NEWTON DAĞI

Doğanın kanunları dünyanın görünmez hükümetidir.

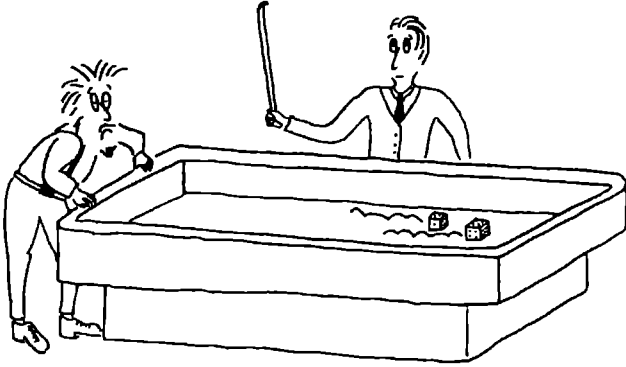
Alfred A. Montapert

1687'de Isaac Newton *Principia*'da evrensel fiziksel kanunlarının bilimsel delillerini ortaya koyarak tarihi değiştirdi.¹ Doğal dünyada düzenlilik antik çağlardan beri iyi anlaşılmış bir kavramdı ve Galileo, Kepler ve Tycho Brahe gibi Rönesans büyükleri kısa süre önce dikkatli deneysel gözlem vasıtasıyla bu bilgiyi rafine etmiş ve nicelemişlerdi. Ama Newton düzenlilik gözleminin ötesine geçerek basit olan, her zaman geçerli ve aynı zamanda ilgisiz gibi görünen davranışları açıklayan matematiksel ilişkiler tanımladı. Newton'ın hareket kanunları o kadar güvenilir çıktı ki, çok geçmeden onlarla uyumsuzluk yanlış gözlemlerin güvenilir bir işareti haline geldi. Mühendislikte, kimyada ve ticarete önemli uygulama alanları buldular ve sonunda bütün teknolojik dünyamızın mantıksal temeli halini aldılar. Alexander Pope'un ünlü övgüsünün hâlâ insanın gözlerini yaşartmasına şaşmamalı:

Doğa ve Doğanın yasası karanlıkta saklıydı.

Tanrı: Newton olsun! dedi ve her şey aydınlandı.

¹ Newton'ın eseri *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* düzenli olarak yeniden basılır. Örneğin bkz. I. Newton, çeviren I. B. Cohen ve A. Witman, *The Principia: The Mathematical Principles of Natural Philosophy* (U. of California Press, Berkeley, CA, 1999). Ayrıca Newton'ın sayısız biyografisi ve basılan eserlerinin antolojileri vardır. Bkz. R. S. Westfal, *The Life of Isaac Newton* (Cambridge U. Press, Cambridge, 1994); ve B. I. Cohen, *Newton: Texts Backgrounds Commentaries* (W. W. Norton, New York, 1996).



Newton'ın kanunlarını test etmek ve onlardan yararlanmak için çok fazla yaratıcı enerji harcadı.

Newton'ın bilimsel eserinin büyük etkisi, gezegen yörüngelerini ve gelgitleri çok güzel bir şekilde açıklamasından değil, bunları kullanarak saat gibi işleyen evrenin, yani bugünkü durumdan yarının, sonraki günün ve ondan sonraki günün *yalnız ve yalnızca* basit bir kurallar kümesi yoluyla tamamen belirlendiği fikrinin geçerliliğini göstermesinden geliyordu.² Newton'ın hesaplarıyla gezegenlerin deneysel gözlemleri arasındaki çarpıcı niceliksel uyuşma, kurallarının astronomik cisimler için doğru olduğuna ve gökyüzünün gizeminin çözüldüğüne dair hiçbir kuşku bırakmadı. Bu kuralların basitliği, mantıklılığı ve Galileo'nun dünyevi gözlemleriyle uyumluluğu çok daha genel olarak geçerli olduklarını, saatin mekanizması olduklarını düşündürüyordu. Bu daha sonraki gözlemlerle doğrulandı. Dört yüzyıl boyunca yapılan dikkatli deneylerde Newton'ın hareket kanunlarının yegâne belgelenen hataları, kuantum mekaniğinin onların yerine geçtiği atom uzunluğu ölçeklerinde oldu.

Newton'ın kanunlarının son derece doğru olduklarını biliyoruz, çünkü onları test etmek ve onlardan yararlanmak için çok fazla yaratıcı güç harcadı. Farklı test sınıfları vardır.

² *Saat gibi işleyen evren* deyiminin bugünlerde biraz aşağılayıcı bir anlamı vardır. Bkz. S. J. Goerner, *After the Clockwork Universe* (Floris, Edinburgh, 1999).

Bunlardan biri astronomik cisimlerin hareketinin dikkatle gözlemlenmesidir. Newton'ın kanunları gezegen yörüngelerinin şekillerini ve geçmişlerini ayrıntılı olarak açıklamakla kalmaz; güneşin, ayın yörüngesi üzerindeki etkilerini, asteroitlerin ve kuyruklu yıldızların karmaşık yörüngelerini³ ve asteroit kuşağının kararlılığını da doğru bir şekilde tahmin eder. Uranüs'ün Newton'ın kanunlarına uymuyor gibi görünmesi Neptün'ün, sonra da Plüton'un keşfedilmesine yol açtı.⁴ Bir başka test sınıfı Huygens'in sarkaç saatinden ve daha gelişmiş modellerinden denge çarklı kronometreye⁵ ve modern kol saatlerinde kullanılan kuvars osilatöre⁶ kadar hassas mekanik saatlerin geliştirilmesi ve imal edilmesidir. Diğer bir sınıf da, jiroskop ilkesini ve ona dayalı olarak yapılmış döner pusula ve sallantı jiroskopu teknolojisini temel

³ Kuyruklu yıldızların aslında son derece eliptik yörüngelerde hareket ettikleri ve periyodik olarak geri döndükleri Edmund Halley tarafından keşfedildi. Halley, Newton mekaniği kullanarak şimdi adını taşıyan kuyruklu yıldızın geri dönüşünü tahmin etti. *Bkz. C. Sagan ve A. Druyan, Comet* (Ballantine, New York, 1997). Halley'in keşfinin ilk referansı E. Halley, *Phil. Trans. Royal Soc. London* 24, 1882-1899'dur (1705).

⁴ Neptün'ün yörüngesi Adams ve Leverrier tarafından "tahmin edildi" ve Galle tarafından keşfedildi. *Bkz S. Drake and C. T. Kowal, Scientific American* 243, 52 (1980); ve P. Moore, *The Planet Neptune* (Wiley, Chichester, 1988). Plüton Percival Lowell tarafından tahmin edildi ve 1930'da Clyde Tombaugh tarafından keşfedildi. *Bkz. S. A. Stern and D. J. Tholen, Pluto and Charon* (U. of Arizona Press, Tuscon, 1998).

⁵ John Harrison 1759'da ilk denizcilik kronometresini icat etti ve ona H-4 adını verdi. Bu esas olarak on santimetre çapında, yay olarak iki metalî şeridi olan büyük bir saatti. İlk olarak 1762'de İngiltere'den Karayip Denizine yapılan altı haftalık bir yolculukta test edildi. Jamaika'ya ulaşıldığında bilidilen hata yalnızca beş saniyeydi. Karşılık gelen 1,25 dakika yaylık boylam hatası ya da 50 km'lik navigasyon hatası Harrison'un London Board of Longitude (Londra Boylam Kurulu) tarafından koyulmuş boylam ödülünü rahatça kazanmasını sağladı. Karmaşık sebeplerle, kurul ona 20.000 sterlinlik ödül paranın yalnızca bir kısmını ödedi ve geri kalanının ödenmesi için Kral 3. George'un bizzat araya girmesi gerekti. Harrison'ın ilk kronometrelerinden biri Kaptan Cooke'a 1776'da sona eren ikinci yolculuğunda (üç yıllık) eşlik etti. Cooke kronometreyi "...bütün kararsız iklimler boyunca sadık kılavuzumuz oldu," diye niteledi. *Bkz. D. Sobel, Longitude* (Walker and Co., New York, 1995).

⁶ Atom saatleriyle ilgili hoş bir tartışma C. Audoin, B. Guinot, and S. Lyle, *The Measurement of Time*'da (Cambridge U. Press, Cambridge, 2001) bulunabilir.

alır.⁷ Newton ile uyumlu fikirler, makineleri ve yüksek binaların deprem kararlılığını tasarlamakta kullanılır ve elektrik iletimi, bilgisayar ve radyoya yol açmış elektrik kanunlarının örtülü akrabalarıdır.

Newton'ın kanunlarının başarılarına ve onların mümkün kıldığı mühendislik ilerlemelerine rağmen, pek çok insan hâlâ saat gibi işleyen evrenini kabul etmekte zorlanır. Bu evren sağduyuya dayalı doğanın karmaşıklığı anlayışımıza ve geleceğin tamamen önceden yazılmış olmayıp nasıl davranmayı seçtiğimize bağlı olduğu inancımıza ters düşer. Ayrıca görünüşe göre günlük deneyimlerimizle de tutarsızdır ve doğru olmayan ahlaki sonuçlara sahiptir. Örneğin başka kişilere istediğiniz her şeyi yapmak ve uygun gördüğünüz gibi tehlikeli şeyler yaratabilmek için bir bahane haline gelebilir, çünkü sonuçta doğa mekaniktir. Ayrıca mantığa duyulan sahte bir inancı meşrulaştırabilir. Bu fikri ilk defa uzun zaman önce alın yazısıyla ilgili bir akşam yemeği tartışması sırasında babamın ağzından duydum. Bir noktada çocukların gerçeklik hakkında ardı ardına yaptıkları cahilce yorumlar yüzünden çileden çıktı ve kendine zorlukla hâkim olarak mantığın hata yapmanın sistematik yöntemi olduğunu söyledi. Artık daha yaşlı olduğum için ne demek istediğini anlıyorum. Avukatlıktaki acı dolu deneyimlerinden insanların analogiler kurarak akıl yürüttüklerini biliyordu. Bir şeyin mantıksız olduğunu söylediğimizde, çoğunlukla zaten bildiğimiz şeylerle uygun bir benzerliğinin olmadığını kastederiz. Saf mantık bu daha ilkel akıl yürütme becerisinin üzerine kurulmuş bir üst yapıdır, bu yüzden de doğası gereği hatalı olabilir. Ne yazık ki, en mantıklı olmamız gereken zamanlar tam da bunun en zor olduğu zamanlardır, yani zaten bildiğimiz hiçbir şeye benzer olmayan yeni bir şeyle karşılaştığımız zamanlar. Bunu uzun sürelerle yoğun bir şekilde

⁷ İlk denize elverişli jiroskoplu pusula 1908'de Almanya'da Hermann Anschütz'ün şirketi tarafından Max Schuler'in ortaya koyduğu ilkeleri kullanarak yapıldı. Elmer Sperry 1911'de daha ucuz bir jiroskoplu pusula icat etti, ayrıca jiroskopik gemi stabilizatörünü de icat etti. Bkz. T. P. Hughes, *Elmer Sperry: Inventor and Engineer* (Johns Hopkins U. Press, Baltimore, 1993).

yapabilme yeteneği Isaac Newton'ları ve Albert Einstein'ları biz diğer insanlardan ayıran şeydir. Yani bu konuda babam haklıydı, ama sadece kısmen. Mantığa bazen inanılabilir ve inanılmalıdır. Saat gibi işleyen evrenle ilgili kesin kanıtlar yüzyıllar boyunca birikerek çok baskın hale geldi. Kişinin hayatın muammalarına cevaplar bulmak için bu fikrin yanlışlığı dışında bir yere bakması gerekir.

Maddesel belirlenimciliğin ahlaki açmazı, fiziğin icat edildiği on yedinci yüzyılda bugünkünden bile daha sıkıntı vericiydi. 1633'te Galileo Galilei, Kopernik'in evrenbilimini desteklemeyi yasaklayan 1616 tarihli emri çiğnediği için İtalya Engizisyonunda yargılandı. Galileo "dini sapkınlığı şiddetle şüpheli" (gerçek dini sapkınlıktan biraz daha az ciddi bir hüküm) bulundu ve halkın önünde güneşin dünyanın çevresinde döndüğü fikrinden vazgeçmeye zorlandı.⁸ Birçok büyük bilim insanı gibi Galileo da isyankâr bir bireydi. Çevresindeki şeyleri sadece düşünmek yerine ölçmeyi amaçlayan, kendi entelektüel gündemini uygulayabilmek için, mezun olmadan üniversiteden ayrıldı. Kariyeri baş döndürecek kadar başarılı oldu. Günümüzde Galileo'yu büyük ölçüde astronomik teleskobu icat etmesi ve onunla yaptığı güneş lekeleri ve Jüpiter'i ayları gibi keşiflerle biliyoruz⁹, ama daha derin katkısı Aristoteles'in konudan konuya atlayan bilimsel yaklaşımının temel sınırlamalarını dile getirmesi ve matematiksel keskinlik ihtiyacını savunmasıydı. 1623'te *Deneycide*, "Doğa Kitabı matematik diliyle yazılmıştır," diye yazdı.¹⁰ Ne yazık ki Galileo'nun o kitapta kuvvetli bir şekilde

⁸ S. Drake, *Galileo at Work: His Scientific Biography* (U. of Chicago Press, Chicago, 1978).

⁹ Teleskop Hollanda'da icat edildi. Lahey'deki ulusal hükümet Ekim 1608'de Hans Lipperley'in modern opera dürrünlerine eşdeğer düşük büyütme güçlü bir teleskop için yaptığı patent başvurusunu ele aldı. Bir yıl içinde bu tür teleskoplar Paris'te satışa sunuldu. İlk astronomi teleskobu 1609'da Galileo tarafından yapıldı. Galileo onunla Jüpiter'in aylarını keşfetti ve nebulara ait yıldız beneklerini çözümledi. Bkz. H. King, *The History of the Telescope* (Griffin, Londra, 1955).

¹⁰ *Deneyci'den (Il Salgiatore)* ve Galileo'nun diğer eserlerinden alıntılar S. Drake, ed., *Discoveries and Opinions of Galileo*'da (Barnes and Noble, New York, 1989) bulunabilir. Ayrıca bkz. S. Drake ve C. D. O'Malley,

ortaya koyduğu belirlenimci* dünya görüşü ilahi müdahaleye yer bırakmıyordu ve belki daha da kötüsü, ilahi şeylerin insanlar tarafından anlaşılabilmesi ve öğrenilebileceği fikrini üstü kapalı biçimde destekliyordu. 1625'te *Deneyci*'de Aşai Rabbani teolojisini, özellikle töz değişimi doktrinini tehdit ettiği için gizlice Engizisyona ihbar edildi.¹¹ İronik olan şu ki, Galileo *Deneyci* kitabını 1623'te Papa Urban VIII olarak seçilmesi vesilesiyle iyi dostu Kardinal Maffeo Barberini'ye adamıştı. 1632'de Galileo'nun Batlamyus evrenine karşı mükemmel ve yıkıcı bir bilimsel saldırı olan büyük eseri *İki Büyük Dünya Sistemi Hakkında Diyalog*'u yayınladığında mesele bir dönüm noktasına ulaştı.¹² Kitabın savlarının çok berrak ve ikna edici olduğu, öyle ki Calvin ve Luther'in toplamından daha tehlikeli olduğu yönündeki ihbarlar üzerine Papa kitabın yayınının durdurulmasını ve Galileo'nun yargılanmasını emretti. Galileo suçlu bulundu, Floransa'nın dışındaki küçük bir köy olan Arcetri'de ev hapsine mahkûm edildi ve ölümüne kadar sekiz yıl burada kaldı.

Galileo olmasa Newton'ın çalışmaları düşünülemez olurdu. Newton'ın esas fiziksel fikirlerinin neredeyse hepsi –ve onları destekleyen deneyler– en başında Galileo sayesinde ortaya çıktı. Cisimlerin hareket etmek için Aristoteles'in düşündüğü gibi bir dış etkene ihtiyaç duymadıklarını, bunun yerine dışarıdan bir tepki verilmediği sürece düz bir çizgi şeklindeki yollarda sabit hızla hareket ettiklerini ilk fark eden Galileo idi. Galileo aynı zamanda bir vektör, yani hem şiddeti, hem de yönü olan bir nicelik olarak hız fikrini icat etti. Bir cismin hareketindeki değişikliklere gösterdiği doğal

The Controversy of the Comets of 1618 (U. of Pennsylvania Press, Philadelphia, 1960).

* Determinist –yn.

¹¹ Galileo'nun dini sapkınlık suçlamasıyla yargılanması ve hapsedilmesi konusunda mükemmel bazı yayınlar vardır. Bkz. P. Redondi, *Galileo Heretic* (Princeton U. Press, Princeton, 1987). Özellikle düşünceli bir tartışma International Catholic University (Uluslararası Katolik Üniversitesi) internet sitesinde bulunabilir: W. E. Carroll, *Galileo: Science and Religion*, <http://www.catholicity.com/school/icu/c02907.htm>.

¹² Galileo Galilei, çeviren S. Drake, *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems* (U. of California Press, Berkeley, 1967).

direnç demek olan atalet fikrini icat etti ve hareketi değiştiren etkeni kuvvet, yani hızı bir andan diğerine ek olarak değiştiren, böylece şu andan iki saniye sonraki hızın şimdiki hız artı kuvvetin şiddetine bağlı olan küçük bir farklılık olmasını sağlayan bir şey olarak tanımlayan ilk kişiydi.

Yine de Isaac Newton modern fiziğin icadında övgünün aslan payını alır, çünkü o bütün bu fikirleri sentezleyerek kusursuz bir matematiksel bütün haline getirmenin bir yolunu keşfetti. Isaac Newton Galileo'nun öldüğü yıl olan 1642'de, Noel gününde doğdu.¹³ Galileo gibi Newton da otoriteye güvenmeme eğiliminde olan isyankâr bir bireydi. Cambridge'deki not defterlerinden birinin kenarında Latince, "Amicus Plato, amicus Aristoteles, magis amica Veritas," (Platon dostumdur, Aristoteles dostumdur, ama gerçek daha iyi bir dosttur) yazılıdır. O çağdaki birçok hevesli genç gibi o da astronomiden büyüleniyordu ve Galileo ve Kepler'i kapsamlı bir şekilde okumuştur. Newton'ın keşifleri için Büyük Vebaya çok şey borçluyuz; Newton ondan kurtulmak için 1665 ile 1667 arasında Lincolnshire'daki evinde saklandı. Oradayken bol bol boş vaktinde sonsuz küçükler hesabını icat etti. Bu Kepler'in gezegen yörüngeleriyle ilgili gözlemlerini, düzlemselliklerini, bir odak noktasında güneşi içeren kusursuz eliptik şekillerini, elipsin eşit alanlarının eşit zamanlarda dışarı yayılmalarına neden olan mucizevi hızlanmalarını ve yavaşlamalarını ve de yörünge'nin boyutuyla süresi arasındaki kesin matematiksel ilişkiyi açıklamak için gereken kilit atılımdı. Analiz notasyonuyla Newton, Galileo'nun hareket kurallarını basit, kesin denklemler halinde yazmayı başardı; bu denklemler çözüldüğünde de bir cismin ona etki eden kuvvetlere tepki olarak hareketinin kesin bir açıklaması elde ediliyordu. Bu matematiksel teknoloji ve bir başka var-

¹³ Bu ifadenin doğru olup olmadığı yoruma açıktır. O sırada İtalya modern Gregoryen takvimine dönmüştü, ama İngiltere hâlâ Jülyen takvimini kullanıyordu. Dolayısıyla hem Newton'ın doğum belgesi, hem de Galileo'nun ölüm belgesi 1642 yılını verse de, Gregoryen takvimine göre Newton 4 Ocak 1643'te doğmuş, Galileo 4 Ocak 1642'de ölmüştür; Jülyen takvimine göre ise bu tarihler sırasıyla 25 Aralık 1642 ve 4 Ocak 1643'tür. *Bkz.* <http://home.att.net/~numericana/answer>,

sayımla –kütleçekim kuvvetinin uzaklıkla beraber belli bir şekilde zayıfladığı– Newton Kepler’in gözlemlerinin aslında Galileo’nun kurallarının sonucu olduğunu, bağımsız olgular olmadığını ispat edebildi.¹⁴ Bu da Kepler’in gözlemlerinin aşırı doğruluğu üzerinden Galileo’nun kurallarının kesin olduğunu ileri sürmesine imkân tanıdı. Galileo bu hususu hiç anlamamıştı. O hayattayken keşfedilen Kepler’in yasalarını göz ardı etmiş ve bütün evrensel kütleçekimi fikrini “okült” olarak görmüştü. Görünen o ki kaderde Galileo’nun halkını Vaat Edilmiş Topraklara götürmesi, ama kendisinin içeri girmemesi yazılıydı.

Öğrencilerimize yaptığımız en büyük kötülüklerden biri, onlara evrensel fiziksel kanunun aşikâr olarak doğru olması gereken, dolayısıyla da ezberden uygun bir şekilde öğrenilebilen bir şey olduğunu öğretmektir. Bu birçok bakımdan korkunçtur, muhtemelen en kötüsü anlamlı şeyleri başarmak için mücadele etmek ve çoğu zaman büyük güçlüklerin üstesinden gelmek gerektiği dersinin verilememesidir. Ayrıca kendini beğenmişlik tutumu, en başında bu güzel yeni fikirleri, hatta genel olarak çok önemli şeyleri ortaya çıkarmış tutumun tersidir. Fiziksel kanunun varlığı, aslında hayret vericidir ve düşünen bir insan için bugün de on yedinci yüzyılda, bilimsel iddia olarak ilk defa ortaya koyulduğunda olduğu kadar tedirgin edici olmalıdır. Evrensel fizik kanunlarına inanmamızın nedeni onların doğru olduğunu düşünmemiz değil, son derece hassas deneylerin bize başka seçenek bırakmamasıdır.

Kısa süre önce bir sebeple ailemle beraber bir araba yolculuğu yaparken bu sorunla ilgili endişeye kapıldım. Lisede fizik dersi alan oğluma Newton’ın kanunlarının doğru olduğuna dair ne kanıtların olduğunu sordum. O anlayışlı bir insandır, bu yüzden bir dediğimi iki etmeden zokayı yuttu, cesur bir şekilde blöf yaptı, söylediklerinin anlamsız olduğunun farkına vardı, rüzgârda biraz döndü, anlayamadığım bir şeyler mırıldandı, sonra sessizliğe gömüldü. Kilit deney-

¹⁴ J. B. Brackenridge, *The Key to Newtonian Dynamics: The Kepler Problem and the Principia* (U. of California Press, Berkeley, 1995).

lerin ne olduğunu sorarak soruyu netleştirdim. Sessizlik devam etti. Bu mutlu an, bütün anne babalarda bulunan çocuklarına onlardan nefret etmek için sebepler verme geninin bir etkisiydi. Oğlumun cevabı bilmediğinin tamamen farkındaydım ve gezegen yörüngeleri hakkında derinlikli bir tartışma başlatmak istiyordum ve sonunda bunu başardım da. Sonuncun olumlu olduğundan oldukça eminim, ama ancak mirası bölüştürme pazarlıkları başladığında kesin olarak bileceğiz.

Evrensel fizik kanunları buz dağı, kesin fiziksel sabit ise sadece onun suyun üstündeki küçük kısmıdır. Her ikisi de aynı fiziksel olgunun yönleridir, ama fiziksel kanun çok daha kapsayıcı bir kavramdır. Sık sık gittiğim Uzakdoğu'da bunu Budizmin Theravada ve Mahanaya kollarıyla benzerlik kurarak açıklarım.¹⁵ Theravada'da kişi dikkatini yalnızca özel tarihi bilginlerin tutucu öğretilerine verir. Mahayana ya da "büyük taşıyıcı"da ise kişi yalnızca bu öğretileri değil, onların birçok sonucunun tamamını göz önüne alır. Evrensel bir sabit her seferinde aynı çıkan bir ölçümdür. Fiziksel bir kanun her seferinde aynı çıkan ölçümler arasındaki bir ilişkidir. Newton'ınkiler gibi hareket kanunları söz konusu olduğunda, farklı anlardaki ölçümler arasındaki bir ilişkidir. Böylece belli şeyleri şimdi ölçtüğümüzde gelecekte yeniden ölçmemize gerek kalmaz (bozulmadıklarını varsayarak), çünkü değerleri kesin olmaya yazgılıdır. Kanunlardan bahsederken kesin değerler yerine kesin denklemlerden söz ederiz, ama temel fikir aynıdır. Önemli olan kesinliktir. Kesin evrensel ölçümler gibi kanunları da zihnimizde ya mikroskobik ya da ortak kökenli olarak sınıflandırma ve her ikisini de tarif etmek için *temel* sözcüğünü kullanma eğilimindeyizdir. Sabitlerde olduğu gibi, deneysel veriler yakından incelendiğinde bu iki sınıflandırma arasındaki farkın eriyip gittiğini görürüz.

Yıllar boyunca Newton kanunlarının başarılar listesi uzarken kuralların başlangıçtaki son derece ihtiyatlı kul-

¹⁵ Budizmin anlaşılır (batılılara yönelik) bir değerlendirmesi için bkz. D. C. Conath, *Buddhism for the West: Theravada, Mahayana, and Vajrayana* (McGraw-Hill, New York, 1974).

lanımından çok farklı spekülative bir kullanımı ortaya çıktı. Yeni strateji Newton kanunlarının doğrudan onaylanamayan hallerde doğru olduğunu varsaymak, bu varsayıma dayalı olarak çeşitli fiziksel özellikleri hesaplamak, sonra deneylerle uyumu temel alarak başlangıçtaki varsayımların doğru olduğunu ileri sürmektir. Böylece örneğin gazların kinetik kuramı gazın Newton kanunlarına uyan, bilardo topları gibi birbirlerine çarpıp geri tepmelerine neden olan kısa menzilli itici kuvvetlere sahip atomlardan oluştuğunu varsayar. Ardından bu hayali atomların çarpışmalarıyla rastgele bir şekilde karışma yönünde güçlü bir eğiliminin olduğu bulunur; bilardo oynamış herkes bunu iyi bilir. Bu eğilim kaos ilkesi adıyla anılır ve havanın kestirilemezliğinin kökünde yatar.¹⁶ Karışmadan sonra bu kaotik bilardo topları yığını çok güzel bir şekilde seyreltik gazların davranışına, ayrıca gaz yoğunluğu artırıldıkça ideal gaz kanununa yapılan, atomlar arası kuvvetlerden gelen düzeltmelere öykünür. Böylece kinetik kuramın ideal gaz kanununu "açıkladığını," yani kanunun kökenine açıklık getirdiğini söyleriz. Ama bu akıl yürütmenin bariz mantıksal hatası, varsayımları test etmek için kullanılan davranışın evrensel bir toplu olgu olması ihtimalidir. Bu durumda, ölçüm temel olarak atomların varlığı gibi mikroskobik varsayımlara duyarsızdır, dolayısıyla hepsini test etmez. Bu hatalı bir uslamlamadır: Tanrı aşktır, aşkın gözü kördür, Ray Charles'ın gözü kördür, dolayısıyla Ray Charles Tanrı'dır.¹⁷ Ne yazık ki bu kuramlarda gerçekleşen tam olarak budur. Sonradan Newton kanunlarının atomlar ölçeğinde yanlış olduğu ortaya çıktı.

Yirminci yüzyılın başlarında atomların, moleküllerin ve atom altı parçacıkların kuantum mekaniği kanunlarıyla açıklandığı anlaşıldı; bu kurallar Newton'inkilerden o kadar

¹⁶ Kaos hakkındaki birçok kitabın en iyisi kaşifi tarafından yazılmıştır: E. N. Lorentz, *The Essence of Chaos* (U. of Washington Press, Seattle, 1994). Ayrıca bkz. J. Gleick, *Chaos: Making a New Science* (Penguin, New York, 1998); ve G. P. Williams, *Chaos Theory Tamed* (Joseph Henry Press, Washington, D. C., 1994).

¹⁷ Bu özel hatalı uslamlama Golden Gate Üniversitesinin ana sayfasından geldi: http://internet.ggu.edu/university_library/if/false_syllogisms

farklıydı ki, bilim insanları onları açıklamak için uygun sözcükler bulmakta güçlük çektiler. Newton kanunları bu ölçekte atomların sıfır boyutta olması ve katıların sıfır sıcaklıkta aslında sahip olmadıkları müthiş ısı kapasitelerine sahip olması gibi son derece yanlış öngörülerde bulunur. Atomal açıdan kusursuz bir katı yüzeye yöneltilen bir helyum atomları ışını Newton kanunlarının tahmin ettiği gibi her yöne sekmez, bir ışık ışını gibi kırılıp yayılarak gökkuşaklarına dönüşür.¹⁸ Atomlar bilardo topları değil dalgalardır, su dalgalarının bağlanarak bir dev dalga oluşturması gibi birbirine bağlanarak atomları oluşturan atom bileşenleri de öyledir.¹⁹

Böylece Newton'ın efsanevi kanunlarının belirledikleri ortaya çıktı. Temel nitelikte değil, kuantum maddenin makroskobik akışkanlar ve katılar halinde toplanmasının –bir toplu örgütlenme olgusunun– sonucudur. Newton kanunları ilk keşfedilen kanunlardı, teknolojik çağa öncülük ettiler ve fizikte bildiğimiz en kesin ve doğru şeyler arasındadırlar; fakat çok yakından incelendiklerinde yok olup giderler. Hayret verici bir şekilde birçok fizikçi bunu inkâr etmeyi sürdürüyor. Bugün hâlâ bu konuda konferanslar düzenliyor ve gelişigüzel bir şekilde Newton kanunlarının bir kuantum mekanığının bir “yaklaştırım”ı olduğundan, sistem boyutu büyük olduğunda geçerli olduğundan söz ediyorlar; asla meşru bir yaklaştırma düzeni bulunamadığı halde. Newton'ın kanunlarının makroskobik sınırdan belirmesi gereksinimi kuantum mekanığının ilk günlerinde *karşılıklılık ilkesi* olarak adlandırıldı ve kuantum ölçümünün anlamını çözmek için bir kı-

¹⁸ Yüzeylerden nötr helyum atom kırınımına genel bakışlar için bkz. G. Scoles, ed., *Atomic and Molecular Beam Methods*, Cilt I ve II (Oxford U. Press, New York, 1992); ve D. P. Woodruff and T. A. Delchar, *Modern Techniques of Surface Science* (Cambridge U. Press, New York, 1994). Atom kırınımının keşfi için ilk referans I. Estemann ve A. Stern, *Z. Physik* 61, 95'tir (1930). Ayrıca bkz. <http://sibenergroup.uchicago.edu/>.

¹⁹ Elektron kırınımına kapsamlı bir genel bakış için bkz. J. M. Cowley, ed., *Electron Diffraction Techniques* (Oxford U. Press, New York, 1992). Elektron kırınımının keşfi için ilk referans C. J. Davisson ve L. H. Germer, *Phys. Rev.* 30, 705'tir (1927). Modern teknolojiye dair bir tartışma için bkz. A. Tonomura, J. Endo, T. Matsuda ve T. Kawasaki, *Am. J. Phys.* 57, 117 (1989).

sıtlama olarak kullanıldı. Bugün hâlâ bizimle olan kuantum belirlenemezliği hakkındaki kötü şöhrete sahip olacak kadar mantıksız (ve kısmen yanlış) fikirler bu sürecin dağınık sonuçlarıdır. Ama karşılıklılık ilkesi matematiksel olarak kanıtlanamaz olmayı sürdürüyor.

Newton'ın kanunlarının belirme* özelliğini ilk olarak P. W. Anderson'ın ünlü denemesi *More Is Different*'tan öğrendim. Anderson çok düşük sıcaklıklara soğutulan metallerin neden tuhaf süperiletkenlik kesinlikleri sergilediği hakkında derin derin düşündükten ana ikilemin karşılıklılık ilkesindeki ikilemin aynısı olduğunu fark etmiş. Bir başka deyişle, süperiletkenlik davranışın kesinliği, *günlük gerçekliğin* bir toplu örgütlenme olgusu olduğunu açığa çıkarır.

Yani görünüşe göre zavallı oğlum entelektüel olarak saldırıya uğramış. Özür dilerim, Todd.

* Emergent –yn.

(Dört)

SU, BUZ VE BUHAR

Kanun düzendir, iyi kanun iyi düzendir.

Aristoteles

Ocak ayında her hafta sonu kamyonet orduları balık peşinde Minnesota'nın göllerine doğru giderler.¹ Sürücülerin hepsi bunun tehlikeli olduğunu bilirler, ama risk almaya hazırdırlar, çünkü kış yüzünden keçileri kaçırmışlardır ve bütün o bekleyen güneş balıklarını, Alaska kömür balıklarını ve tatlı su levreklerini düşünmeye dayanamazlar. Göllere gitmek için çeşit çeşit gerekçeler icat ederler, hatta eşlerinin balıkları temizlemeye ve pişirmeye bayıldıklarını bile iddia ederler. Bu bir yalandır. Eşleri balıktan nefret eder ve bu yolculuklarda her zaman kaygılanır, bazen dehşete kapılırlar. Onlara katlanırlar, çünkü başka seçenekleri yoktur. Sürücülerin sayısı düşünüldüğünde daha fazla kaza olmaması muhtemelen şaşırtıcıdır. Minnesota Doğal Kaynaklar Bölümünde tekne ve su güvenliği uzmanı olan Tim Swalley'e göre 1976 ile 2001 arasında buzda sadece 117 ölüm oldu ve bunların %68'i bir aracın içindeydi.² Belli ki buz güvenilir derecede güçlü ve batmazdır; en azından Minnesota kışlarında ve kuvveti ile batmazlığını test eden kişinin içkili olmaması şartıyla.

¹ Buz balıkçılığı son derece popülerdir ve hakkında çok fazla bilgi internetten ücretsiz olarak edinilebilir. Örneğin bkz. <http://www.icefishing-world.com> ve <http://www.invominnesota.com>. Ayrıca bkz. J. Capossela, *Ice Fishing: A Complete Guide, Basic to Advanced* (Countryman Press, Woodstock, VT, 1992).

² Bkz. <http://icefishingoutdoors.com/safety.html>. Swalley'e tim.swalley@dnr.state.mn.us veya <http://www.dnr.state.mn.us>'ten erişebilirsiniz.

Sadece aynı yerde uzun süre durmaktan sıkılan Minnesotalılar değil, hepimiz her gün –buz üzerinde durmaktan 12.000 metre yükseklikte fıstık ısmarlamaya kadar– üzerinde hiç düşünmeden canlarımızı katı hale emanet ederiz. Yeterince soğuk maddenin donduğunu ve donduğunda evrensel ve kesin olarak şekil, biçim ve deformasyona karşı esnek dayanıklılık kazandığını deneysel olarak biliriz. Katının aniden sertliğini yitirmesi ve bize ihanet etmesi olasılığı yoktur, fakat hafif bir sıcaklık artışı –kimi zaman bir derecenin küçük bir oranı kadar– katıyı eriterek tam da buna yol açabilir. Bir fırının ateşli cehenneminde metal sıçrayıp oynayabilir, ama bizim dünyamızda ciddi ve sorumluluk sahibidir.

Maddenin halleri –bilindik sıvı, buhar ve katı da aralarındadır– örgütlenme olgularıdır. Birçok kişi bunu öğrenince şaşırır, zira haller çok temel ve tanıdık görünür, ama bu gayet doğrudur. Buza güvenmek altın almaktan çok bir sigorta şirketinden hisse almaya benzer. Eğer şirketin örgütlenme yapısı bir sebeple çökerse, yatırımımız da yok olur, çünkü altta yatan bir fiziksel varlık yoktur. Benzer biçimde, eğer bir kristalli katının örgütlenmesi –atomların bir kafes halindeki düzgün sıralanması– çökseydi, sertlik yok olurdu, çünkü onun da altında yatan fiziksel bir varlık yoktur. Her iki durumda da değer verdiğimiz özellik düzenliliklerdir. Çoğumuz canlarımızı bir örgütlenmeye emanet ettiğimizi düşünmemeyi tercih ederiz, ama bunu her gün yaparız. Örneğin bütünüyle örgütlenme olguları olan ekonomiler olmasa, medeniyet çökerdi ve hepimiz aç kalırdık.

İronik olan şudur ki, hallerle ilişkili olguların muazzam güvenilirliği onları indirgemecilerin korkulu rüyası, kimyagerlerin mutlu dünyalarını ezmesi, yakması ve genel olarak terör estirmesi için ortalığa saldırdığı bir çeşit Godzilla haline getirir. Sık sık karşılaşılan basit, evrensel bir olgu duyarlı bir şekilde mikroskobik ayrıntılara bağlı olamaz. Sertlik gibi *kesin* bir olgu ise ayrıntılara hiç bağlı olamaz. Dahası, hallerin bazı özellikleri evrensel ve bu yüzden kolayca tahmin edilebilir olsa da, diğerleri, örneğin hangi koşullar altında hangi halin elde edildiği, öyle değildir; su, bunun özellikle

utandırıcı bir örneğidir. Alelade su buzu son sayıma göre (sayı yeni keşiflerle giderek artıyor) on bir farklı kristalli hal sergiler ve bunların biri bile ilk prensiplerden yola çıkarak doğru bir şekilde tahmin edilmemiştir.³ Buz-I, buz-II... diye adlandırılan bu haller, Kurt Vonnegut'un *Cat's Cradle* [*Kedi Beşiği*] romanında hicvedilen kurgusal kitle imha silahı buz-9 ile karıştırılmamalıdır.

Haller ilkel ve iyi incelenmiş bir belirme durumudur ve doğanın ölçek duvarları olduğunu kesin olarak ortaya koyar. Bu duvarlar kusursuz biçimde doğru ve makroskobik olgularla oldukça ilgisiz olabilir; bunun sebebi ölçtüğümüz şeylerin onlara ya duyarsız ya da fazlasıyla duyarlı olmasıdır. Tuhaf bir biçimde bunların ikisi de aynı anda doğru olabilir. Dolayısıyla şu anda belirli bir sıcaklık ve basınçta buzun hangi kristalli halinin oluşacağını sıfırdan hesaplamak fazla zordur, ama belirli bir halin makroskobik özelliklerini hesaplamaya gerek yoktur, çünkü bunlar tamamen geneldir.

Bu sorunun ciddiyetinin bir ölçütü, hallerin örgütlenme olguları olduğunun nereden bilindiğini net bir şekilde açıklamamanın çok zor olmasıdır. Kanıtlar her zaman karmaşık, dolaylı ve sinir bozacak kadar kuramlarla iç içe geçmiştir; bu biraz sabun ya da otomobil reklamlarında ürün üstünlüğü için sunulan kanıtlara benzer. Her iki durumda da derin sebep, temellerden sonuca giden mantıksal bağın çok sağlam olmamasıdır. Kesin bildiğimiz bir husus, kristalli katıların sıralanmış atom kafesleri olması –X-ışınlarını belirli açılardan saptırma eğilimleri bunu açığa çıkarır–, sıvılar ve gazların ise olmamasıdır. Ayrıca az sayıda atom içeren sistemlerin yalnızca basit, belirlenimci hareket kanunlarıy-

³ Suyun özelliklerinin ilk prensipler hesaplarının şu anki durumu için bkz. T. R. Truskett ve K. A. Dill, *J. Chem. Phys.* 117, 5101 (2002) ve içindeki referanslar. Suyun hal şeması hâlâ deneysel açıdan bile tam olarak bilinmemektedir. Tartışmalar C. Lobban, J. L. Finney ve W. F. Kuhs, *Nature* 391, 268'de (1998) açıklanmaktadır. Ayrıca bkz. F. Franks, *Water: A Matrix of Life* (Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2000). Suyun hal şeması üzerine yararlı Internet referansları arasında <http://www.sbu.ac.uk/water/phase.html> ve <http://www.cmp.ac.uk/people/finney/soi.html> vardır.

la motive olduğunu da biliyoruz.⁴ Bunun yanında, bu kanunların işlemez hale geldiği ya da yerini başka kanunlara bıraktığı ölçeği keşfetmeye yönelik girişimlerin başarısız olduğunu da biliyoruz. Son olarak, temel kanunların *prensipte* örgütlenme olguları olarak haller ve hal değişimleri üretebildiğini biliyoruz.⁵ Böylece işe yaramayan karmaşıklıklar atıldığında geriye şu basit önerme kalır: Mikroskobik kanunlar doğrudur ve makul biçimde hallere neden olabilir; dolayısıyla onlara neden olduklarından eminiz, fakat bunu tümdengelimle kanıtlayamıyoruz. Bu önerme inandırıcı ve öyle sanıyorum ki doğrudur, ama “neden” sözcüğüne geleneksel olarak sahip olmadığı bir anlam vermek gibi garip bir etkisi vardır. Kimya kanunlarının Tokyo’nun yok olmasına “neden olduğu” söylenebilir, ama gerçekte bunu yapan Godzilla’dır.

Bu önermenin inandırıcılığı hal örgütlenmesine aksi takdirde sahip olmayacağı çok büyük bir önem yükler, zira hallerin sıkıcı olduğu gerçeğini gizlemek imkânsızdır. Pratik bir açıdan beliren bir kanunla kendiliğinden var olan bir mucize arasında fazla fark yoktur, ama felsefi açıdan aradaki fark derindir. Bunlardan biri düzenli hiyerarşik gelişmenin hâkim olduğu bir dünyayı, diğeri büyüünün hâkim olduğu bir dünyayı temsil eder. Haller, emsal olarak dünyanın harikalarından en azından bazılarının örgütlenmeye dayalı olduğunu *kanıtlar* ve bunu yaparken hepsinin örgütlenmeye dayalı olduğunu düşündürürler. Bu, örgütlenmeye dayalı nedenler deneysel olarak saf dışı bırakılana kadar olayların doğaüstü nedenlerinin olduğundan kuşku duymaya eğilimli olmamızın ana sebeplerinden biridir.

⁴ Fiziksel kimyayla ilgili literatür o kadar engindir ki iyi bir kapsamlı değerlendirme yoktur. Başlamak için iyi bir kaynak W. J. Hehre, L. Radom, P. V. Schleyer, and J. Pople, *Ab Initio Molecular Orbital Theory*’dir (Wiley, New York, 1986). İyi bir tanıtıcı metin A. M. Halpern, *Experimental Physical Chemistry*’dir (Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1997).

⁵ Basit kurallardan ortaya çıkan hal geçişinin en ünlü gösterimi iki boyutlu Ising modelinin Onsager çözümüdür. K. Huang, *Statistical Mechanics* (Wiley, New York, 1963), s. 349 ve sonraki sayfalarda ayrıntılı olarak açıklanır. İlk referans L. Onsager, *Phys. Rev.* 65, 117’dir (1944). Ayrıca bkz. B. Kaufmann, *Phys. Rev.* 76, 1232 (1949).

Hallerin ürettiği kesinliğin günlük yaşamda başka birçok örneği daha vardır. Örneğin sıvılar bir noktayla diğeri arasında kütleçekimden kaynaklananlar hariç hiçbir türde basınç farkına tahammül edemezler. Bu sıvı halinin sıvının neden yapıldığına bağlı olmayan genel bir özelliğidir. Bariz değildir, bu yüzden de Yunan matematikçi Arşimet onu keşfettiğinde “Evreka!” diye bağırıp Syrakusa’nın sokaklarında çırılçıplak koşmuştu.⁶ Bu özellik cıva barometresinin, çelik gemilerin suda batmamasının ve bütün hidrolik makinelerin ardında yatan ilkedir. Sıvı halinin metalik hal adında, gerilim farklarına tahammül etmeyen bir elektronik versiyonu vardır. Metallerin bu kesin özelliği, tellerde elektriğin iletiminin, ayrıca iletim yaptıkları sırada ticari radyo kulelerine dokunmama gibi pratik kuralların altında yatan ilkedir. Hem sıvı hem de metalik hallerin, süperakışkan ve süperiletken adını taşıyan, daha da etkileyici kesin davranışları olan özel düşük sıcaklık versiyonları bulunur.

Fakat beliren kesinliğin en basit prototipi, katı sertliğinden nihai olarak sorumlu etki olan kristal kafeslerin düzenliliğidir. Kristallerin atom düzeni nefes kesecek kadar uzun ölçeklerde –yüz milyon atom aralığı kadar fazla, çok iyi örneklerde– kusursuz olabilir.⁷ Daha on yedinci yüzyılda atom düzeninin kristalli şekillerin basitliği ve düzenliliğinin nedeni olduğundan şüpheleniliyordu,⁸ ama bu kusursuzluğun mertebesi X-ışını kristalografisi icat edilene kadar bilinmiyordu.⁹ Sıralamanın kusursuzluğu, büyük ölçüde, X-ışını yansımalarının kesinliğinden çıkarılsa da düşük sıcaklıklarda elektriğin iletilmesi gibi aktarım de-

⁶ S. Stein, *Archimedes: What Did He Do Beside Cry Eureka?* (Math. Assn. Am., Washington, D. C., 1999).

⁷ X-ışını kristal ayarlaması için bkz. Yu.V. Shvyd’ko vd., *Phys. Rev. Lett.* 85, 495 (2000) ve içindeki referanslar.

⁸ Robert Hooke 1665’te kristallerin birbirinin aynı madde “kürecikleri”nin yoğunlaşmaları olabileceği gözlemini yaptı. Bkz. R. Hooke, *Micrographia* (Science Heritage Ltd., Lincolnwood, IL, 1987).

⁹ X-ışını kristalografisiyle ilgili birçok mükemmel metin vardır. Bkz. B. D. Cullity, S. R. Stock ve S. Stock, *Elements of X-Ray Diffraction* (Prentice Hall, New York, 2001) ve J. Als-Nielsen ve D. McMorrow, *Elements of Modern X-Ray Physics* (Wiley, New York, 2001)

neyleri vasıtasıyla da dolaylı olarak tespit edilebilir.

Kristalleşme mucizesini takdir etmek için on milyar çocuk içeren bir okul hayal edebilirsiniz. Teneffüs zili çalar ve öğretmenler çocukları sınıflarına geri sokmaya hazırlanmak için devasa oyun alanında sıraya dizerler. Ancak çocukların başka fikirleri vardır, oyun oynamaktan heyecanlanmışlardır ve derse girmekten nefret ederler. Öğretmenler onları kontrol altına almak için mücadele ederken kıpırdanır, birbirlerini rahatsız eder ve koşarak daireler çizerek elim sende oynarlar. Bu deneyi gerçekten yapmadan oyun alanında uzun menzilli bir düzenleme modelinin ortaya çıkıp çıkmayacağını anlamak çok güçtür, çünkü birkaç yüz çocukluk bir menzilde model çok kusurludur, hatta belki de yoktur. Ama yüz bin çocuk ölçeğinde tek bir sınıfın curcunası ilgisiz hale gelebilir, bu da yüz bin kilometrelik bir çocuk kristalinin oluştuğunu söylememize imkân tanıyabilir.

Bir kristaldeki atomların bu kadar iyi sıralanması pek aşikâr değildir. Bir kere, bu her zaman olmaz. Örneğin element halindeki helyum sıcaklığı ne kadar düşürülürse düşürülsün sıvı halde kalır, fakat basınca maruz bırakıldığı zaman kristalleşir.¹⁰ Cam ve plastik gibi biçimsiz maddeler ancak büyük bir zorlukla kristalleştirilebilir ve genellikle yarı kalıcı donmuş bir kaos durumunda bulunur.¹¹ Hâlâ hangi proteinlerin kristalleşip hangilerinin kristalleşmeyeceğini kestirmek son derece güçtür, oysa bu modern ilaç endüstrisi

¹⁰ Sıvı helyumla ilgili engin bir literatür vardır. Örneğin bkz. J. F. Allen, *Superfluid Helium* (Academic Press, Burlington, MA, 1966) ve J. Wilkes, *The Properties of Liquid and Solid Helium* (Oxford U. Press, Londra, 1967). 4He'de süperakışkanlığın keşfi için ilk referans P. Kapitza, *Nature* 141, 79'dur (1938). 4He'deki süperakışkanlığın kuramı için bkz. I. M. Khalatnikov, *An Introduction to the Theory of Superfluidity* (Benjamin, New York, 1966) ve D. Pines ve P. Nozières, *The Theory of Quantum Fluids* (Benjamin, New York, 1966).

¹¹ Polimerler ve camlarda kristalleşmenin yavaşlaması onları bu kadar yararlı yapan şeylerden biridir. Ama her ikisi de kristalleşir. Bkz. J. Schultz, *Polymer Crystallization: The Development of Crystalline Order in Thermoplastic Polymers* (Oxford U. Press, Oxford, 2001) ve I. Gutzow, *The Vitreous State: Thermodynamics, Structure, Rheology, and Crystallization* (Springer, Heidelberg, 1995).

için çok büyük bir öneme sahiptir.¹² Nelerin kolayca kristalleştiği bir dereceye kadar mikroskobik yapılarından tahmin edilebilir. Ama son tahlilde kristal kafeslerin kusursuzluğu kendinden var olur. Borsanın son çöküşünde *Economist* durumu "kaymalar olur" diye açıklamıştı. İşte biz de kristallerin oluşmamasını bu şekilde açıklıyoruz.

Kristal sıralanmasının en hayret verici yanı, sıcaklık yükseltildiğinde kesinliğini korumasıdır. Sıcaklık on milyar çocuğumuzun kan dolaşımında bulunan şeker miktarı olarak düşünülebilir. İyi kristallerde bile belirli bir atom her zaman hareket eder, bu yüzden de her zaman kafesteki ideal yerinden biraz uzaktadır, bu da ısının fiziksel anlamıdır. Bu hareketin var olduğunun kanıtı, bir örneğin içine gönderilen X-ışınlarının bir kısmının tıpkı radar ışınları hareketli bir uçaktan sektiğinde olduğu gibi küçük bir dalga boyu değişimiyle yansıtılmasıdır.¹³ Ama şaşırtıcı olan şudur ki bu etki X-ışınlarının saptırıldığı özel açıları gizlemez; sadece saptırılmış ışının yoğunluğunun bir kısmını çalar ve onu bir fotoğraftaki buğulanmayı hatırlatan düzenli bir arka plan şeklinde yeniden dağıtır. Bu böyle olur, çünkü bir atomun konumu yapıda rastgele bir uzaklıktaki bir diğerinin konumunu belli bir belirsizlikle haber vermeye devam eder. Konum hataları birikmez. Bu çocuk sırasının yüz çocuk seviyesinde kaotik, ama milyon çocuk seviyesinde kusursuz derecede düzenli görünmesine imkân tanır. Tersine, sıvı halde sapmış görüntü gizlenmez, çünkü konum hataları birikir ve haber verme gücünün yeterince büyük mesafelerde kaybolmasına neden olur. Belli ki bir katının kafes konumları atomlar kesin olarak içlerinde olmadığı zaman bile kesin anlama sahiptir.

¹² Protein kristalografisi çoğu fizikçinin iyi anlayamadığı gizemli bir konudur. Bkz. T. M. Bergfors, ed., *Crystallization of Proteins: Techniques, Strategies, and Tips* (International University Line, La Jolla, 1998) ve A. McPherson, *Crystallization of Biological Macromolecules* (Cold Spring Harbor Laboratory, Woodbury, NY, 1999),

¹³ Atom hareketinin elastik olmayan X-ışını saçılımı yoluyla tespit edilmesi hakkında bilgi için bkz. M. Holt vd., *Phys. Rev. Lett.* 83, 3317 (1999) ve içindeki referanslar.

Kafes kaydının uzun mesafeli ölçeklerdeki kesinliği neden erimenin ani olduğunu açıklar.¹⁴ Nasıl bir insan biraz hamile olamazsa, bir atomun rastgele bir uzaklıktaki başka bir atomun konumunu haber verme kabiliyeti de kısmen mevcut olamaz. Bu haber verebilirlik mevcut olduğunda, basit mantık bize normalde katılarla ilişkilendirilen şekil ve elastiklik gibi başka özelliklerin de mevcut olması gerektiğini söyler. Dolayısıyla bu özellikler ancak yıkımsal bir şekilde yitirilebilir. Ne yazık ki sürekli olarak bu kesinliğin katı halin doğası için ne ölçüde önemli olduğuyla ilgili yanlış anlamalar olur. Çoğu madde kusursuz biçimde düzenli değildir; önemli mühendislik özelliklerinin birçoğunu yapısal ve kimyasal kusurlarına borçlu olduğumuz gerçek metaller bile.¹⁵ Ayağınıza düşen akrilik bir bowling topu bir kuramcının tanımına göre katı olmayabilir, ama Acil Serviste oturmuş cerrahı beklerken kesinlikle katıymış gibi gelir. Fakat bu şeylerden farklı haller olarak bahsedebilmemize izin veren katıdan sıvıya ani dönüşüm, sıralamayı gerektirir. Camlar ya da bowling topu gibi polimer malzemelerde soğutmayla beraber ani bir hal geçişi meydana gelmez; dolayısıyla maddenin katı mı, yoksa son derece viskoz bir sıvı mı olduğunu tespit etmenin anlamlı bir deneysel yolu yoktur.¹⁶ Ayrım anlambilimseldir; bu yüzden de bu konudaki tartışmalar inatçı ve keskindir. Prensipde benzer bir sorun, saf olmayan kristallerde de meydana gelir, ama pratikte hal geçişinin bozulması genellikle önemli olmayacak kadar incedir.

¹⁴ Bu geçişlerle ilgili fizik literatürü ne yazık ki teknik ve anlaşılmalıdır. Bazı kilit referanslar H. E. Stanley, *Introduction to Phase Transitions and Critical Phenomena* (Oxford U. Press, Londra, 1997) ve S. Sachdev, *Quantum Phase Transitions*'tır (Cambridge U. Press, Londra, 2001).

¹⁵ Pratik metalürji konusu engin ve karmaşıktır. Bkz. G. E. Dieter, *Mechanical Metallurgy* (McGraw-Hill, New York, 1986)

¹⁶ Camlar ve cam oluşumu sorunuyla ilgili birçok kitap vardır. Örneğin bkz. E.-J. Donth, *The Glass Transition: Relaxation Dynamics in Liquids and Disordered Materials* (Springer, Heidelberg, 2001). Sırasız ortamlarda sıralanmayla ilgili klasik referans S. F. Edwards ve P.W. Anderson, *J. Phys. F 5*, 965'tir (1975). Ayrıca bkz. M. Mezard, G. Parisi ve M. A. Virasoro, *Spin Glass Theory and Beyond* (World Scientific, Singapore, 1986); ve K. Binder ve A. P. Young, *Rev. Mod. Phys.* 58, 801 (1986).

Hal geçişlerinin ciddiyetinden şüpheye düşen kişiler kaprisli hava koşullarıyla ün salmış bir yer olan New England'da bir kış mevsimini geçirmeye zorlanmalıdır. Yüksek lisans öğrencisiyken Boston'ın banliyölerinde, kar acil durumlarında hep zorluk çıkaran bir çıkmaz sokağın sonundaki bir evi paylaşıyordum. Bir gün bir kış fırtınası patlak verdi. Sabahın erken saatlerinden akşam dokuza kadar kar yağdı, sonra sıcaklık aniden yükseldi ve sağanak yağmur başladı. Tropik bölgelerdeki kadar çok yağın yağmur zemindeki karla karışarak çamur oluşturdu. Bu, rögarları tıkadı ve caddeleri kaldırımlara kadar doldurdu. Sonra sabaha karşı üçte, herkes uykudayken Kanada'dan gelen bir kutup cephesi sıcaklığı yeniden sıfırın altına düşürdü ve caddeyi dondurarak otuz santim kalınlığında katı bir buz bloğuna çevirdi. Sabah olduğunda küremek faydasızdı ve gece caddeye park edilmiş talihsiz arabalar gömülü kaldılar. Belediye bir hafta boş yere buzun erimesini bekledi, sonra havlu atıp üzerine kum döktü. Bu kum, ta bahara kadar bir çeşit pis, kaygan buz-beton halinde kaldıktan sonra eridi.

Bir kere ne arayacağınızı bildiğinizde, katı dışındaki hal-lerin örgütlenme doğasını ortaya koymak kolay hale gelir. Toplu bir madde hali, maddenin büyük bir toplamında kesin, ama küçük bir toplamında kesin olmayan ya da hiç olmayan bir ya da daha fazla davranışla belirsizliğe yer bırakmayacak bir biçimde tanımlanır. Davranış kesin olduğu için, basınç ya da sıcaklık gibi dış koşullar değiştirilirken sürekli olarak değişmez, yalnızca bir hal geçişinde aniden değişebilir. Dolayısıyla belirsiz olmayan bir örgütlenme olgusunun imzası keskin bir hal geçişidir. Fakat geçişin kendisi yalnızca bir belirtidir. Önemli olan geçiş değil, onu gerekli kılan beliren kesinliktir.*

Buzun erime ve süblimasyon geçişleri, kristalin düzeninin yol olmasına ve yerini toplu halde hidrodinamik olarak bilinen bir kesin davranışlar kümesine bırakmasına işaret eder.¹⁷ Hidrodinamik kanunları, hidrostatik basıncın anlam-

* Emergent exactness –yn.

¹⁷ Hidrodinamik ile ilgili klasik metin L. D. Landau ve E. M. Lifshitz, *Flu-*

lılığı, basınç değişimlerine tepki olarak pürüzsüz bir şekilde akma eğilimi ve viskoz sürtünme gibi sezgisel olarak akışkan halle ilişkilendirdiğimiz şeylerin kesin bir matematiksel kodlamasına karşılık gelir. Hiç kimse ilk prensiplerden bu kanunları çıkarsamayı başaramadı, ama birçok durumda son derece makul iddialarda bulunmak mümkündür. Çoğu beliren şey gibi onlara da inanmamızın sebebi onları gözlemlememizdir. Katılardaki sertlik kanunları gibi hidrodinamik kanunları da ölçüldükleri uzunluk ve zaman ölçeği arttıkça daha kesinleşir, ters sınırdaki geçersiz hale gelir. Uzun dalga boylarında hidrodinamik kanununun belirmesi, sesin evrensel olarak akışkanlarda yayılmasının ve bir akışkanın kesme dayanımının her zaman tam sıfır olmasının sebebidir. Hidrodinamik ilkelerinin ayrıntılara duyarsızlığı derin deniz dalgıçlarının hava karışımlarındaki azotun yerine helyum koyulduğunda Donald Duck sesleriyle bile olsa birbirleriyle konuşmayı sürdürmelerine izin verir.

İzotropik akışkanlar yalnızca katıların zıttı değil, onların birçok olası alternatifinden biridir. Bunlardan endüstriyel açıdan en kayda değer olanı, düz panel bilgisayar monitörlerinin ve ucuz kol saatlerinin etkin ögesini oluşturan sıvı kristal hallerdir.¹⁸ Bu haller geleneksel sıvılarda olduğu gibi kesme gerilimine tahammülsüzlükleri, buna karşılık küçük elektrik sinyallerine tepki olarak ışık kutuplanmasını kıvrımlarına imkân tanıyan kalıntı anizotropileriyle nitelenirler. Bir başka örnek de akışkan benzeri kesme özellikleri, ama sıradan soygaz atomları grafit üzerinde yoğunlaştığında oluşan altı kat yönelimsel hafızaları olan heksatik haldir.¹⁹

id Mechanics'tir (Addison-Welsey, Reading, Mass., 1959). Ayrıca bkz. H. Lamb, *Hydrodynamics* (Dover, New York, 1993)

¹⁸ Sıvı kristallerle ilgili literatür engindir. Bkz. P. Yeh and C. Gu, *Optics of Liquid Crystal Displays* (Wiley, New York, 1999). Nematik halle ilgili daha fazla bilgi P. G. de Gennes, *The Physics of Liquid Crystals* (Oxford U. Press, New York, 1974) ve <http://www.lassp.cornell.edu/sethna.OrderParameters/Intro.html>'de bulunabilir.

¹⁹ İki boyutlu filmlerin erimesinin geleneksel erimeden farklı olabileceği fikri ilk olarak J. M. Kosterlitz ve D. J. Thouless, *J. Phys. C* 6, 1181'de (1973) açıklandı. Böylece üretilen halin geleneksel bir sıvıdan farklı olabileceği ise daha sonra David Nelson, Bert Halperin ve Peter Young tarafından

(Heksatik hali deneysel olarak tespit etmek zordur, bu yüzden varlığı daha tartışmalıdır.) Bir diğer örnek de manyetik alanlarda meydana gelen, bir akışkanın geleneksel sesi ile temediği “sıkıştırılamaz” halidir. Bir diğer hal süper katıdır; bu, şekil sertliğine sahip, yine de akan kuramsal bir hal olup, kısa süre önce deneysel gözlemi bildirilmiştir.²⁰ Egzotik haller nadir görülür, ama yine de varlıkları önemlidir, çünkü tanıdık katı, sıvı ve gazın daha genel bir şeyin özel durumları olduğunu ortaya koyar.

Suyun sıvı halini buhardan ayıran kesin özellik kayda değer biçimde daha incelikli bir şeydir: aralarındaki arayüz. Su ve buhar o kadar farklı görünürler ki onları birbirinden ayırt etmenin zor olacağını hayal etmek güçtür, ama kimi zaman öyle olur. Kaynayan suyla dolu bir kabın buhar basıncı artırdığında (bunun bir yan etkisi kaynama sıcaklığını artırmaktır), bulanan yüzeyi görmek gittikçe zorlaşır ve kritik bir basınçta ortadan kalkar. Bu basıncın üstünde sıvı ve buhar ayrı kimliklerini yitirir, tek bir halde, akışkanda birleşirler, bu yüzden yüzey olmaz. Sıvıyla buharın birleştiği basınç mühendislerin işine yarar, zira buharın motorlar yapmak için kullandıkları özel genleşme özellikleri o noktadan en üst düzeye çıkar, ama onun dışında önemsizdir. Dolayısıyla sıvı ve buhar hallerini ayıran beliren olgu, düzenin gelişimi değil, bir yüzeyin gelişimidir. Bir kristalin katının kafesi ya da akışkandaki hidrodinamik kanunları gibi, bu yüzey ve hareketini belirleyen kurallar da büyük mesafe ve zaman ölçeklerinde giderek daha iyi tanımlanır, ama ters sınırdan anlamlarını yitirirler. Bu da bize bulutları, yağmuru ve denizin muhteşem şiddetini veren etkidir.²¹

öne sürüldü ve ayrıntılı olarak açıklandı. Bkz. D. R. Nelson, *Phys. Rev. B* 18, 2318 (1978); A. P. Young, age. 19, 1855 (1979); D. R. Nelson ve B. I. Halperin, age. 21, 5212 (1980). Heksatik halle ilgili yakın zamanda yapılmış deneysel çalışmalar R. Radhakrishnan vd, *Phys. Rev. Lett.* 89, 076101'de (2002) ve içindeki referanslarda bulunabilir.

²⁰ 4He'deki süper katı bir halin deneysel gözleminin yapıldığı yakın zamanda E. Kim ve M. H.W. Chan, *Nature* 427, 225'te (2004) öne sürüldü.

²¹ Bulutlar ve bulut oluşumuyla ilgili bir tartışma için bkz. B. J. Mason, *The Physics of Clouds* (Clarendon Press, Oxford, 1971).

Hal örgütlenmesinin açık ara en önemli etkisi, cisimlerin var olmasına neden olmaktır. Bu nokta inceliklidir ve kolayca gözden kaçabilir, zira katılaşmayı Newton kürelerinin yoğunlaşması şeklinde düşünmeye alışkınız. Ama atomlar Newton küreleri değil, bir nesnenin bütün özelliklerinin en temel olanından, yani tanımlanabilir bir konumdan yoksun olan esir* benzeri kuantum mekaniği varlıklarıdır. İşte bu yüzden serbest atomları Newton kanunlarıyla açıklamaya yönelik girişimler her zaman atomların ne burada ne orada olması, aynı anda her yerde olması gibi saçma önermelerle sonuçlanır. Atomların Newton kanunlarıyla açıklanmasını anlamlı kılan, büyük cisimler halinde toplanmalarıdır, tersi doğru değildir. Bu olguyu çok fazla sayıda küçük hayaletin kol kola verdikleri ve bu sayede cisimleştikleri, henüz çekilmemiş bir Stephen Spielberg filmiyle karşılaştırabilirsiniz. Bu cisimleşmenin gerçekleşmesi için, hayaletlerin sayısının akıllara durgunluk verecek kadar fazla olması gerekir. Sadece atomları bağlayarak çok büyük bir molekül oluşturmak yetmez. Örneğin 60 ya da daha fazla karbon atomundan oluşan futbol topu şeklinde moleküller olan fullerenler, çok hoş bir şekilde ışınları saptırırlar, dolayısıyla da hâlâ ölçülebilir biçimde kuantum mekaniğine aittirler.²² Ama örnek büyüklüğü sonsuza doğru büyüdükçe iç hareketlerle bütün cismin toplu hareketi arasındaki ayrım *niteliksel* hale gelir ve bütün cisim Newton tarzı bir gerçeklik kazanır. Atomları Newton kanunlarına göre düşünebilmemizin sebebi, beliren bir olgunun bu hatayı ilgisiz kılmasıdır. Ama bu yalnızca bir bütün olarak cismin hareketi için geçerlidir. İçteki titreşimsel hareketler kuantum olmayı sürdürür.

Cisimlerin toplu olarak belirmesi ultra soğuk ortamlarda meydana gelen süper olma olgusunun ardında yatan ilkedir.²³ Çizgi roman karakteri Superman gibi süperakışkan helyum da, tek bir sıçrayışta yüksek binaların üzerine çıka-

* Ether -yn.

²² Bucky küresi kırınımı M. Arndt vd., *Nature* 401, 680 (1999) ve B. Brezger vd., *Phys. Rev. Lett.* 88, 100404'te (2002) açıklanır.

²³ P. W. Anderson, *Basic Notions in Condensed Matter Physics* (Addison-Wesley, New York, 1984).

bilir ya da daha açık olarak kendi başına geniş ağızlı bir kabın çeperlerinden yukarı sürünüp kaçabilir. Superman'ın aksine, çok garip ve mantıksız olan, öyle ki asla ucuz bir bilim kurgu dergisinde yayın için kabul edilemeyecek özellikleri vardır. Bir süperakışkanın viskozitesi yalnızca küçük değil, tam olarak sıfırdır; bu da gözenekli tıpalardan hiç yoklamış gibi geçmesine ve bulunduğu kap döndürüldüğünde tam olarak sabit kalmasına imkân tanır. Benzer biçimde süperiletkenler elektrik akımını hiç direnç kaybı olmadan iletir ve döndürüldüklerinde manyetizma üretirler, çünkü atom çekirdekleri hareket ederken elektronlar etmez.

Süperakışkanlık ve süperiletkenlik, ideal kristalli sertliğin akışkan versiyonlarıdır. Bu durum aşikar değildir, bunun ana sebebi de bu iki özelliğin tıpkı sıfır sıcaklık hidrodinamiği gibi Newton dünyasında benzerleri olmayan özel "kuantum" olguları gibi görünmesidir, ama bu yanlıştır. Yanlışığını ele veren şey kesinliktir. Şanslıyız ki süperakışkan düzeni egzotik olsa da aynı zamanda basittir, dolayısıyla da kolayca anlaşılır. Onu birbirinin arasında sürüklenen, ama aynı siyasi partiyi tercih eden (aynı parti olduğu sürece hangisi olduğu konu dışıdır) küçük hayaletlerle dolu bir tank olarak açıklayabilirsiniz. Ardından siyasi görüşü sol tarafta bir şey, sağ tarafta başka bir şey olmaya zorlayarak tankı bozarsanız, içerideki hayaletlerin siyasi topluluğu gerilir ve süperakışkan akışı adı verilen toplu göçle tepki verir.

Süperakışkan sertliğiyle sıradan kristalli sertlik arasında yeterli ortak nokta olduğu için ikisi arasında yararlı benzerlikler kurulabilir. Dolayısıyla kendi çevresinde dönen bir helyum kabı süperakışkan geçişi sırasında soğutulursa, akışkan kendi çevresinde dönmeye devam eder, ama bu yalnızca küçücük, kuantumlanmış burgaç çizgilerinden oluşan bir kafeste olur.²⁴ Bunlar bir bıçakla pasta dilimini çıkardıktan sonra kesilmiş yeri yeniden birleştirmek için pastayı bir

²⁴ Süperakışkan 4He'deki kuantumlanmış burgaçlar konusunun uzun bir geçmişi vardır. En yakın zamanlı çalışmalar süperakışkan türbülansının burgaç dolanımına yoğunlaşmıştır. Bkz. M. R. Smith, *Phys. Rev. Lett.* 71, 2583 (1993) ve M. Tsubota, T. Araki ve S. K. Nemirovskii, *Phys. Rev. B* 62, 11751 (2000).

araya sıkıştırarak elde edilebilecek kristaldeki çizgi kusurlarının akışkan versiyonudur.²⁵ Akışkanda kusurlu olacak bir kafes yoktur, bu yüzden kesimin hafızası çizginin çevresindeki özel, kalıcı bir akışkan akışında korunur.

Kristalli ve süperakışkan halleri ve de bunların ilişkili kesin davranışları, fizikteki kendiliğinden simetri kırılması adı verilen önemli bir soyut fikrin belirli örnekleridir. Bu kavramın mühendislikten modern uzay vakumu kuramına kadar uzanan kullanım alanları vardır,²⁶ hatta yaşamla ilgili olduğundan şüphelenilir.²⁷ Simetri kırılması fikri basittir: madde toplu halde ve kendiliğinden bir haldeyken altta yatan kuralların kendilerinde var olmayan bir özellik ya da tercih edinir. Örneğin atomlar bir kristal olarak sıralandıklarında, tercih edilen konumlar edinirler, oysa kristal oluşmadan önce bu konumlar hiç tercih edilmemiştir. Bir demir parçası manyetik hale geldiğinde, manyetizma kendiliğinden işaret edeceği bir yön seçer. Bu etkiler önemlidir, çünkü örgütlenme ilkelerinin ilkel maddeye bir zihin ve karar verme gücü verebileceğini kanıtlarlar. Maddenin “rastgele” –yani başka bir önemi olmayan bir ilk koşul ya da dış etki temelinde– karar verdiğini söyleriz, ama bu konunun özünü tam olarak belirtmez. Karar verildikten sonra, bu, “gerçek” olur ve artık rastgele bir yanı kalmaz. Simetri kırılması, altta yatan kurallar basit olduğu halde doğanın nasıl tamamen tek başına zengin bir karmaşıklığa sahip olabildiğinin basit, ikna edici bir örneğini sunar.

²⁵ Kaymaların kavranması modern metalurji ve kristal büyütme teknolojisi için hayati önemdedir, dolayısıyla da katı hal fiziğiyle ilgili çoğu modern metinde açıklanır. Bkz. D. Hull ve D. J. Bacon, *Introduction to Dislocations* (Butterworth-Heinemann, Burlington, Mass., 2001) ve J. Weertman ve J. R. Weertman, *Elementary Dislocation Theory* (Oxford U. Press, Londra, 1992).

²⁶ Standart modellerle ilgili en iyi kitaplardan biri mucitlerinden biri tarafından yazıldı: G. t’Hooft, *In Search of the Ultimate Building Blocks* (Cambridge U. Press, Londra, 1996). Ayrıca bkz. N. Cottingham ve D. A. Greenwood, *An Introduction to the Standard Model of Particle Physics* (Cambridge U. Press, Londra, 1999). Son derece zorlayıcı ama kapsamlı bir metin de bir başka mucide aittir: S. Weinberg, *Quantum Theory of Fields, Vols. I–III* (Cambridge U. Press, Londra, 1995).

²⁷ S. Kauffman, *At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity* (Oxford U. Press, Oxford, 1996).

Hallerin ve hal geçişlerinin varlığı, doğayı yalnızca Newton'ın saat gibi işleyen evrenine göre düşünme alışkanlığına karşı akli başa getirici bir gerçeklik kontrolü işlevi görür. Minnesota'nın göllerinin üzerinde batmadan duranlar ve büyük şehirlerde gökyüzüne uzananlar örgütlenmenin kanunlara neden olabildiğinin, ama tersinin geçerli olmadığına basit, somut örnekleridir. Mesele altta yatan kuralın yanlış olması değil, ilgisiz olması, örgütlenme ilkelelerinin onları güçsüz kılmasıdır. İnsan kurumlarında olduğu gibi, beliren kanunlar da güvenilir değildir ve kimi zaman, örgütlenme küçük olduğunda ayırt edilmeleri zordur, ama büyüklük arttıkça daha güvenilir, sonunda kesinlikle doğru olurlar. İşte bu yüzden korkmadan hazine bonoları alabilir ya da fazla risk almadan bir kamyonu buzda sürebilirsiniz. İnsan kurumlarıyla kurulan benzerlik son zamanlarda büyük şirketlerde baş göstermiş muhasebe üçkâğıtları ve mali çöküşler düşünüldüğünde biraz sağlıksız gelebilir, ama endişe yersizdir. Bu zayıflık genel değildir, zira doğa kanunları daha yüksek bir yetkili tarafından uygulanır.

(Beş)

SCHRÖDINGER'İN KEDİSİ

Gerçeklik toplu bir önseziden başka bir şey değildir.

Lily Tomlin

Kuantum mekaniği çok küçük şeylerin (atomlar, moleküller ve onları oluşturan atom altı parçacıklar) belirlenimci hareket kanunudur.¹ 1920'lerde Newton'ın saat gibi işleyen evreniyle özünde uyumsuz görünen çok sayıdaki garip ve son derece utandırıcı deneysel gerçeği (atom buharlarının belirgin dalga boylarıyla ışık yayma eğilimi, sıcak kütlelerin sıcaklıklarıyla beraber artan bir renk ve yoğunlukla ışıldama eğilimi ve kimyasal bağlanma ve radyoaktivite kanunları) uzlaştırmaya çalışan fizikçiler tarafından keşfedildi. Sorunun çözümünün saat gibi çalışan evrenden vazgeçmekten değil, mekanizmasını kavramsal olarak derinlikli bir şekilde revize etmekten geçtiği anlaşıldı. Bu, bilimin gerçekleri kuramlara uydurarak değil, kuramları gerçeklere uydurarak ilerlediğini gösteren güzel bir olgu geçmiştir.

Kuantum mekaniğini öğrenmek bir beden dışı deneyimini andırabilir.² Olamayacak şeyler sıradan gerçekler haline gelir, sözcükler geleneksel anlamlarının tam tersi anlamlar edinir ve sağduyuya dayalı gerçeklik alaşağı edilir. Bu ko-

¹ Kuantum mekaniğiyle ilgili en popüler modern metinlerden ikisi R. Shankar, *Principles of Quantum Mechanics* (Plenum, New York, 1994) ve C. Cohen-Tannoudji, B. Din, F. Laloe ve B. Dui, *Quantum Mechanics*'tir (Wiley, New York, 1992).

² Bu uyuşturuculara bağlı olanları içermez, çünkü onlar sayılmaz. Bir baba olarak, bu espiye dürüstçe benim ve eşimin sıfır toleranslı olduğumuza, hatta içki bile çok az içtiğimizi belirterek karşılık vermeyi zorunlu görüyorum.

nuyla ilgili derslere devam etmek Abbott and Costello'nun *Who's on First* skecini tekrar tekrar dinlemek gibidir.³

Kuantum mekaniğinin açık ara en çalgınca özelliği, Newton'ın saat gibi işleyen evreninin belirlenimciliği ile oldukça ürkütücü olasılıkçı belirlenemezciği karıştırması ve bunlardan ikincisine deneysel koşullara bağlı olarak gerekli olduğunda başvurusudur.⁴ Ölçüm eyleminin kendisinin belirlenimci zaman evrimini kesintiye uğraması, kuantum mekaniği bilgilerinin parçasıdır. Bu, piskopos Berkeley'in ormanda düşen bir ağacın ses çıkarmadığını öne süren ünlü önermesine benzeyen bir tür antropik gerçeklik kuramıdır,⁵ ama saçmadır. Bir şey yalnızca insanlar ona bakmadığında belirlenimci olamaz. Yine de olasılıkçı belirli deneyleri gayet doğru biçimde açıklar ve bu bakımdan gerçektir. Belirli bir kuralın nasıl belirsiz bir deneysel sonuç verebildiği önemli ve ilginç bir konudur.

Kuantum gözlemi paradoksunun mucitlerinden biri olan Erwin Schrödinger, onun saçmalığını derinlemesine anlamış ve o saçmalığı bir kediye içeren ünlü düşünce deneyiyle nefis bir ironiyle ortaya koymuştu.⁶ Schrödinger bir kedi, tek bir radyoaktif atom, bir Geiger sayacı ve Geiger sayacı tıkladığında asit dolu bir kovaya düşecek şekilde ayarlanmış bir

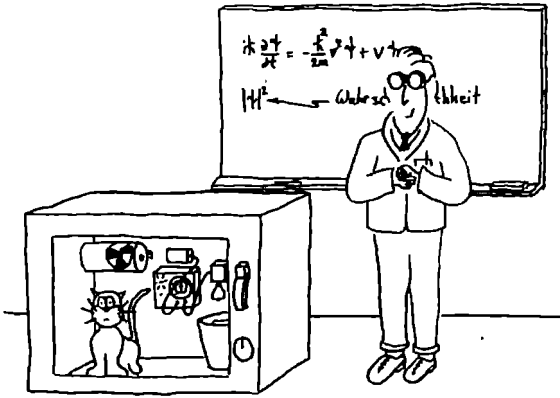
³ Abbott ve Costello'nun "Who's on First" skeci ilk olarak radyoda canlı icra edildi ve sonrasında *The Naughty Nineties* filmine dâhil edildi. İnternette yüzlerce sitede kopyaları vardır; bunlar listelenemeyecek kadar fazladır.

⁴ Kuantum mekaniğinin Bohr, Heisenberg ve Born tarafından geliştirilmiş Kopenhag yorumu bilim felsefesinin büyük bir alt disiplindir. En iyi referans İnternettedir: J. Fain, "The Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics," *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*'de, E. N. Zalta, ed., <http://plato.stanford.edu/archives/sum2002/entries/qm-copenhagen>. Ayrıca bkz. J. Faye, *Neils Bohr: His Heritage and Legacy. An Antirealist View of Quantum Mechanics* (Kluwer, Dordrecht, 1991).

⁵ Berkeley'in eserlerinin birçok yeniden baskısı vardır. Bkz. G. Berkeley and J. Dancy, ed., *A Treatise Concerning the Principles of Human Knowledge* (Oxford U. Press, Londra, 1998)

⁶ Schrödinger'in kedisi için ilk referans E. Schrödinger, *Naturewissenschaften* 23, 807 (1935), çeviren John D. Trimmer, *Proc. Am. Phil. Soc.* 124'tür ve *Quantum Theory and Measurement*, J. A. Wheeler and W. H. Zurek, ed.'de (Princeton University Press, Princeton, 1983) yeniden basılmıştır. Bu makalede, Schrödinger kedi örneğini "gülünç" diye anmaktadır, hikâye yeniden anlatıldığında bu gerçek bazen gözardı edilir.

siyanür kapsülü hayal etti.⁷ Bu düzeneğin işlevi eğer atom bozunursa kediye kesin bir şekilde öldürmektir. Ardından belirlenimci kuantum mekaniği kuralları dalga fonksiyonu adı verilen gizemli bir miktarın yavaşça, balondan kaçan hava gibi atomdan dışarı sızdığını, bu şekilde bu dalga fonksiyonunun sınırlı ama giderek azalan bir miktarının içeride kalmaya devam ettiğini söyler. Fakat atomun içinde kalan miktarın fiziksel anlamı, *biri ölçtüğünde*, yani kedinin hâlâ miyavlayıp miyavlamadığını görmek için kutuyu açtığında atomun bozunmamış olması ihtimalidir. Ama ölçüm yapılan kadar sistem doğası gereği canlı ve ölü bir kedinin kombinasyonudur. Bu fikrin gülünçlüğü ortadadır, özellikle gerçek bir ölü kediyle karşılaşmış biri için. Schrödinger de böyle olmasını amaçlamıştı.



Bu fikrin gülünçlüğü ortadadır.

Bu çeşit gülünç mantıksızlık neredeyse her zaman kayıp bir fikrin belirtisidir. Abbott ve Costello skeci tam da bunu temel alır, keza Gracie Allen'in bütün o kaçık dünyası da: "Babe Ruth'un bir ikiz kardeşi olduğunu biliyorum, çünkü çifti" sayesinde Yankees'in bir maç kazandığını okudum." "Kendini

⁷ Artık insanların bir Geiger-Müller sayacının iyonlaştırıcı ışınım detektörü olduğunu bilmeleri yaygın değildir. Bkz. G. F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement* (Wiley, New York, 2000)

ne diye çağırıyor?" "Of, amma salaksın. Kendini çağırmasına gerek yok. Kim olduğunu biliyor."⁸

Kuantum ölçümü söz konusu olduğunda kayıp fikir, belirme özelliğidir ya da daha özel olarak aygıtın mantıklı olması için gereken simetri kırınımı ilkesidir.

Kuantum ölçümü paradoksunun geçmişi büyüleyicidir. Seksen yıllık hummalı tartışmaların ardından hâlâ bu konu üzerinde genel bir uzlaşmaya varılmış değil. Benim de aralarında bulunduğum bazı fizikçilere göre, ölçümün beliren doğası barizdir ve sorumlu profesyonellerin bunu tartışarak vakit kaybetmemesi gerekir. Diğerleri için bu ağza alınmayacak bir sapkınlıktır. Bu anlaşmazlığın nedeni, önermelerin incelikli olması ve şu anda yapılabilen deneylerle saydam bir şekilde çözülmemesidir. Bilim insanlarının da özellikle çekişmeli durumlarda diğer herkes gibi ideolojik konumları vardır ve kimi zaman bunun tuhaf sonuçları olur. Schrödinger'in kedisi zaman içinde büyüyerek Schrödinger'in kendisinin amaçladığı anlamın tam tersine, bir aşkınlık simgesine dönüştü. Yarı dini bir havaya büründü, öyle ki zihnini çalıştırarak bu kediyi anlamak öğrenciler tarafından aydınlanmaya giden yoldaki bir adım olarak görülür oldu. Ne yazık ki öyle değildir. Bilimde kişi mantıklı olmayan şeylere inanmanın yollarını keşfederek değil, anlamadığı şeyleri belirleyerek ve onları açıklığa kavuşturmak için deneyler yaparak aydınlanır.

Kedi paradoksunda anlaşılmayan şey, ölçüm sürecinin kendisidir. Bu durum ölçüm aygıtı kuantum mekaniğine göre açıklanmaya çalışıldığında çabucak aşıkâr hale gelir. Görünürde belirlenemez olan bütün durumlarda bu imkânsızlık derecesinde güçtür, çünkü atomların sayısı çok büyüktür. Örneğin kedi söz konusu olduğunda ölçmek kutunun üstünü açıp içeriye bir fener tutmayı ya da üstünü çıkarmayıp yalnızca koklamayı gerektirebilir. Bunu daha basit açıkla-

* İngilizce hem "çift vuruş," hem "ikiz" anlamına gelen "double" sözcüğü kullanılmış -çn.

⁸ Burns ve Allen skeçlerinin transkripsiyonları ve kayıtları Internetin her yanında. Ayrıca bkz. C. Blythe and S. Sackett, *Say Goodnight Gracie: The Story of Burns and Allen* (E. P. Dutton, New York, 1986).

malara karşı test etmenin pratik olmaması, kuantum belirlenemezliğiyle piramitlere dair fantastik kuramlar ya da şu anda devletimizi dünya dışı varlıkların yönettiğine ilişkin iddiaların ortak noktasıdır. Birkaç mantıklı yanıtlanmamış soru daha var. Ayrıca yakından incelendiğinde atomların sayısının *zorunlu olarak* çok büyük olduğu açığa çıkar, zira eğer çok küçük olsaydı, aygıt çalışmazdı. Bir atomun radyoaktif bozunumunu örneğin bir başka atom kullanarak tespit etmek mantıklı değildir, çünkü küçücük, ölçülemez bir şeyin yerine başka bir şeyi koymaya karşılık gelir. Ama yüksek gerilim kaynağına ve bir güçlendiriciye bağlı bir gaz tüpüyle –Geiger sayacı– ölçmek son derece mantıklıdır. Besbelli ki insanın “ölçüm” kavramında aygıtın büyük olmasını gerektiren bir yan var.

Büyüküğün bir kilit faktör olduğunu kabul ettikten sonra, gizemi çözmek zor değildir: Bütün kuantum detektörleri katılardan yapılır, dolayısıyla da hepsi katı halin simetri kırılması özelliğinden, yani yalnızca büyük boyut sınırında meydana gelen bir etkidene yararlanır. Bir şey geleneksel insan tanımına göre bir gözlem niteliği kazanmak için onu gözlemleme eylemiyle değişmemelidir. Gözlem niteliği *kazanmayan* bir şeyin örneği, komşuma bölüm başkanının önceki başkanın eşiyle evlilik dışı ilişki yaşayıp yaşamadığını sormamdır. Ondan kiminle konuşacağımı düşündüğüne bağlı olarak farklı bir cevap alırım, dahası cevap entrika rüzgârları estikçe bir günden diğerine de değişebilir. Tutarlı bir gözlem elde etmemin tek yolu, komşumun bölümünün çeşitli üyelerinin birbirleriyle iletişim kurmaları, bu konu üzerinde konuşmaları ve toplu olarak hikâyenin ne olacağına karar vermeleridir. Yaygın olarak bu tür konularda görüşün “billurlaşmasından” bahsederiz. Bu etkinin fiziksel versiyonu, deneyin çeşitli hassas kuantum parçalarının işbirliği yaparak Newton’ın kanunlarına uyan klasik bir cisim haline gelmeleridir. Örneğin bir Geiger sayacındaki göstergeyi okuduğunuzda kesin olarak bir an sonra yeniden okuduğunuzda değerin aynı olacağını bilirsiniz, çünkü ibre ağır, katı bir cisimdir. Hoparlörden bir tıkırtı duyarsam odanın

diğer tarafındaki öğrenci de bir saniyenin küçük bir oranı kadar süre sonra yüzde yüz kesinlikle aynı tıktırtıyı duyacaktır; şüphesiz dikkatini vermişse, aksi takdirde çok geçmeden tarihe karışacaktır. Ama atom parçalanması seviyesinde bu doğru değildir, çünkü söz konusu sistem gözlemleneyle kolayca bozulur. Aygıt cisimlerin belirmesi yoluyla bir kuantum sinyalinin klasik bir sinyale dönüştürerek çalışır.

Simetri kırılmasını altta yatan kuantum mekaniği kurallarından çıkarsamanın çok güç olmasının bir sebebi, dünyanın düzenlenme biçiminin dolanık olmasıdır. Dolanıklık düğümlenmiş elektrik kablolarını ve ucuzluktan alınmış olta makaralarıyla yaşanan tatsız tecrübelerini akla getiren renkli bir terimdir, ama aslında daha çok gelir vergisine benzer. Gelir vergisi hesabında nihai sonucun tek bir basit sayı –ödemeniz gereken vergi tutarı– olduğunu, ama arada karmaşık, birbirine bağımlı kurallar olduğunu hatırlayın. Dolayısıyla toplam maaşlarınıza, bahşişlerinize, vb lütfen B programındaki vergilendirilebilir faizi ekleyin, ama vergiden muaf faizi eklemeyin, ama yine de buraya yazın, sonra C programındaki iş gelirini, D programındaki sermaye kazancını ve bunun gibi bir sürü başka şeyi ekleyin, sonra taşınma masraflarını çıkarın, ama önce 3903 formunu kontrol edin –o muhtemelen bu çıkarmayı yapmamanızı söyleyecektir– sonra devlet gelir vergisi ve ipotek faizini içeren listelenmiş kesintileri çıkarın, ama çok fazla para kazandıysanız ayrıntılara bağlı olan bir oranını ekleyin ve çalışmıyorsanız iş masraflarını da katın, ardından hep eşdeğer olan üç yöntemden biriyle toplamdan verginizi hesaplayın, sonra size söylemeyi unuttuğumuz alternatif minimum vergi için sayfa 34'e bakın ve büyük bir çek yazın. Bir kuantum sisteminin dalga fonksiyonu da böyledir. Çeşitli girdilerin –bu durumda gelir ve iş bilgilerinin değil, parçacık konumlarının ve yönelimlerinin– bir sayıya çevrilmesini sağlayan bir kuraldır. Bir kuantum sisteminin durumu, vergi sisteminin durumu gibi herhangi bir anda bu kurala göre tanımlanır. Kuantum mekaniğinde belirlenimci hareket kuralın zaman ilerlerken gerçekleşen mantıksal ve sistematik evrimi anlamına ge-

lir. Dolanım kuraldaki karşılıklı bağımlılık demektir. Fakat kuantum mekaniğinin dolanıklığı gelir vergisinininkinden çok daha kötüdür, çünkü her şeyin diğer her şeyle bağıntısı vardır. Vergiyle kurulabilecek uygun bir benzerlik, devlete ödenecek toplam gelirden Joe'nun kesintisinin Alice'in Sezar salatasına ve George'un yeni bir kamyonet alıp almadığına bağlı olduğu bir kuraldır. Bunu vergi mükelleflerinin sayısından dünyanın bütün kumsallarındaki kum taneciklerinin sayısına genişletirseniz, bir küp şeker gibi küçük bir cisimdeki kuantum dolanıklığı sorunu hakkında bir fikir sahibi olabilirsiniz.⁹

Kuantum dolanıklığı anlaması kolay, ama inanması neredeyse imkânsız olan o kavramlardan biridir; ücretsiz çek ya da sigara şirketi yöneticilerinin masumiyet iddiaları gibi. Yine de doğrudur. Onun geçerliliğini doğrulayan birçok deneyden en basit ve en dolaysız olanı atom spektroskopisidir. Atom buharları çok özel ışık dalga boyları yayar. Bunların tam değerleri atoma bağlıdır, ama kesinlikleri ve özgünlükleri değildir. Dalga boyları dolanık elektron dalga fonksiyonlarının hareket kurallarıyla muazzam bir doğrulukla açıklanır. Dahası, bu kurallar bu ışığın Ritz kombinasyon ilkesi olarak bilinen, gözlemlenen frekansların her zaman daha temel frekansların farkları olmasını gerektiren bir özelliğine hassas bir şekilde uygundur. Son zamanlarda kuantum mekaniğinin dolanık doğasını ortaya koymaya çok ilgi gösterildi, ama aslında atomların yaydığı ışığın büyük

⁹ Bu aslında büyük bir azımsamadır. Her kumsalın; 100 metre genişliğinde ve 1 metre derinliğinde olduğunu, dünyada 100.000 kilometre uzunluğunda kumsal olduğunu ve her bir kum tanesinin 1 milimetre küp hacme sahip olduğunu varsayarak, 10^{19} tane elde edilir. Bu sadece bir küp şeker hacmindeki havada bulunan molekül sayılarının miktarıdır. Bütün dünyadaki bütün kumsallarda bulunan kum tanelerinin sayısı ile ilgili tahminler 10^{22} 'ye kadar çıkmaktadır. Bu gerçekten bir küp şekerdeki atomların sayısıdır, ama eğer elektron sayısına göre hesaplamak ve boşluk boyutlarını düzgün biçimde saymak istenirse, bu sayının yaklaşık on katına ihtiyaç duyulur. *Bkz.* <http://www.ccaurora.edu/ast102/notes/notes11.htm> ve http://www.tufts.edu/as/physics/courses/physics5/estim_97.html.

kesinliği bunu her gün ortaya koyar.¹⁰

Dolanıklığa inanmak güçtür, bunun sebebi kısmen onu kontrol etmemize imkân tanıyan beliren olguların aynı zamanda onu görmemizi de zorlaştırmasıdır. Bir yük treni geliyorsa, raylardan uzaklaşmanın iyi bir fikir olduğunu bilmek için yakındaki böceklerle bağıntıları düşünmemize gerek yoktur. Ayrıca trenin talihsiz böceklerle çarptığı andaki silkinmelerini dikkatle gözlemleyerek, bu böceklerin kütlelerini ölçmek de prensipte mümkün olsa da pratik değildir. Böcekler fiilen gözlemlenemez hale gelmiştir. Benzer biçimde, bir voltmetrenin hareketinde ya da hoparlörün çıtırtısında kuantum dolanıklığının etkilerini tespit etmek de zordur. Fakat bu sadece detektörü katılardan yapmanın bir yan etkisi değil, gerçek tespit stratejisinin kendisidir. Aygıt tren gibi çalışır. İçindeki kuantum dolanıklığı kaybolmamış, sadece önemi olan deneyse sonuçlara sahip olmayı bırakmıştır.

Kuantum ölçümünün olasılıkçı doğası büyüden değil, güçlendiricilerin, kuantum dünyasıyla klasik dünya arasındaki köprülerin işleyişinden gelir.¹¹ Böyle bir güçlendiricinin basit bir prototipi, bir tepenin zirvesindeki alçak çukura koyulmuş bir bowling topudur.¹² Bu top, duyarlı bir kuvvet detektörüdür; zira bir kere çukurdan belli bir yöne doğru itildiğinde tepeden o yöne doğru hızlanarak inecek, sonun-

¹⁰ Dolanıklık şu anda kuantum hesaplamayla ilgili olması nedeniyle revaçta bir konudur. Bkz. A. D. Aczel, *Entanglement: The Greatest Mystery of Physics* (Four Walls Eight Windows, New York, 2002) ve G. J. Milburn ve P. Davies, *The Feynman Processor: Quantum Entanglement and the Computing Revolution* (Perseus Publishing, Cambridge, MA, 1999).

¹¹ Güçlendiriciler tarafından güçlendirilen kuantum gürültüsü konusu fiziğin bütün bir alt disiplindir. En iyi referans ne yazık ki oldukça tekniktir: H. A. Haus, *Electromagnetic Noise and Quantum Optical Measurements* (Springer, Heidelberg, 2000). Ayrıca bkz. Y. Yamamoto ve H. Haus, *Rev. Mod. Phys.* 58, 1001 (1986) ve H. A. Haus ve J. A. Mullen, *Phys. Rev. A* 128, 2407 (1962).

¹² Tepedeki bowling topu ucu üzerinde duran, bir kurşun kalemin mavi yakalı versiyonudur. m kütleline sahip bir topun L büyüklüğünde bir tepede kalabileceği maksimum zaman T , $T = \sqrt{L/(32g)} \ln(8m^2 L^3 g / \hbar^2)$ 'dir; burada g kütleçekim kaynaklı ivme, $\hbar$ de Planck sabitidir. <http://www.brunswickbowling.com>'den ağır bir bowling topunun kütlelerinin 7,3 kilogram olduğunu buluruz. L 1 metre olarak alındığında, maksimum zaman T 'yi yaklaşık 9 saniye olarak elde ederiz.

da büyük bir hızla aşağıya varacaktır. Çukur ne kadar alçak olursa detektör de o kadar duyarlı olur. Çukurun tamamen yok olduğu sınırdaki top sonsuz derecede duyarlı hale gelir ve keyfi ölçüde küçük kuvvetleri, hatta bir atom bozunmasının geri tepmesi gibi kuantum kuvvetlerini tespit edebilir. Ama bu son derece idealleştirilmiş kuantum mekaniği problemi yeterince çözümlenebilir ve belirsizliğini varsaymadan atom artı detektör olarak bir bütün halinde çözülebilir. Tıpkı Newton kanunlarının gerektirdiği gibi, topun yarı yola kadar inmesinin tepenin aşağısına vararak iyi ve klasik hale gelmesini kesin bir şekilde öngördüğü ve her ikisinin atomun bozunmasıyla bağıntılı olduğu, ama varış anının belirsiz olduğu anlaşılmaktadır. Bu meydana gelir, çünkü "varış" kavramı bir bütün olarak belirir. Bu örneğin uygun bir benzerlik taşıdığı Schrödinger'in kedisinin ölümü de öyledir.

Kuantum güçlendiricilerinin yararlandığı ilkenin belirmeye dayalı doğası, onların belirli evrensel özelliklere, özellikle yanlış alarmlar oluşturma eğilimine sahip olmalarına neden olur. Tepedeki top, sadece yaklaşık olan Newton kurallarına uygundur ve yeterince uzun beklenirse, tepeye ne kadar kesin bir şekilde yerleştirilmiş olursa olsun, kendiliğinden yuvarlanarak bunu ortaya koyar. Bu durum, bir kurşun kalemin ucu üzerinde dengede tutulabileceği süreyi hesaplamanızı isteyen ünlü kuantum mekaniği problemiyle hoş bir şekilde ortaya koyulur. Cevap yaklaşık beş saniyedir. Gerçek bir kurşun kalem için termal bozulma ve rüzgâr nedeniyle daha da kısadır, ama beş saniye temel sınırdır. Çok genel olarak daha duyarlı güçlendiriciler daha fazla kuantum gürültüsü (böyle hatalar için kullanılan teknik terim) kullanırlar ve duyarlılıkla gürültülülük arasında temel bir ilişki vardır. Bu çoğunlukla soyut olarak bir Heisenberg belirsizliği paradoksu şeklinde ifade edilir, ama ucu üzerinde dik duran bir kurşun kaleme karşılık gelir.

Güçlendiricilerin belirsizlik üretmesi, haber olmadığında haber kuruluşlarının tembellik üretmelerini andırır. Politikada olaylar yaygın bir şekilde tartışılana kadar "gerçek" olmazlar, bu yüzden haber medyası fiilen küçük olayları

güçlendirerek gerçeğe dönüştürür. Haberi yapılan olay zaten oldukça büyükse, örneğin bir askeri birlik hareketi ya da indirim oranındaki bir azalmaysa, güçlendirilmiş versiyon özgün olayın makul derecede sadık bir kopyası olur. Ama olay küçükse, örneğin bir seçim bölgesi ödeneği değişikliği ya da kasıtsız ama tahrik edici bir hatalı beyansa, güçlendirilmiş versiyon bir haberden diğerine kayda değer biçimde değişebilir ve bu bakımdan belirsiz hale gelebilir. Haberini yapacak hiçbir şey olmadığında bu sürecin sınırına ulaşılır; o noktada muhabirler birbirleriyle röportaj yapmaya ve yayın saatlerini birbirlerinin görüşleriyle doldurmaya başlarlar. Böylece Paula Zahn'ın Wolf Blitzer'e yakın gelecekteki vergi indirimi mücadelesinde Başkanın ne yol izleyeceğini düşündüğünü sormasını ve benzerlerini izleriz. Haber işinde buna yavaş bir gün adı verilir. Fizikte ise kuantum gürültüsü adı verilir.

Ancak kuantum mekaniğinden geleneksel fiziksel gerçekliğin belirmesini kavramak, haberlerden siyasi yapıların belirmesini kavramaktan daha güçtür, çünkü başlangıç noktası çok başka bir dünyadan gelmiş gibidir. Kuantum mekanik maddesi hiçlik dalgalarından oluşur. Bu zor bir kavramdır, bu yüzden kişi geleneksel olarak öğrencilerin ona alışması için öncelikle dalga-parçacık ikiliği adı verilen bir şeyi, yani Newton kanunlarına uygun nesnelerin kimi zaman dalgalar gibi çatıştıkları, kırıldıkları vb fikrini açıklar. Bu gerçek değildir, ama onu bu şekilde öğretmek öğrencilerin zihinsel devrelerinin yanmasını önler. Aslında öyle bir ikilik yoktur. Newton kanunlarındaki pozisyonun ve hızın bir cismi nitelmesi fikri olduğu gibi yanıltıcı ve dalga fonksiyonu adını verdiğimiz bir şey, yani ses geçtiği zaman havada oluşan hafif basınç değişikliklerine göre modellenmiş bir soyutlama onun yerine geçer. Bu kaçınılmaz olarak neyin dalgalandığı sorusunu gündeme getirir; sıra dışı bir şeyi tarif etmek için sıradan bir sözcüğü kullanmanın yol açabileceği belaların şahane bir örneğidir. Geleneksel kullanımda bir dalga bir şeyin, mesela denizin yüzeyinin ya da heyecanlı futbol taraf-

tarlarıyla dolu bir tribünün toplu hareketidir.¹³ Geleneksel bir dalganın bir şeyin dalgayı yaratması bağlamı dışında var olması mantıklı değildir. Ama fizik, gözlemlenemez şeylerle mevcut olmayan şeyler arasında ayırım yapmama gibi eskiye dayanan bir geleneğe sahiptir. Dolayısıyla ışık bir maddenin (elektromanyetizmanın ilk zamanlarında buna esir denirdi) dalgalarıymış gibi davransa da, bu maddeye ilişkin doğrudan bir kanıt yoktur; bu yüzden onun mevcut olmadığını beyan ederiz. Benzer sebeplerle kuantum mekaniği dalgaları yayıldığında hareket eden ortamın da mevcut olmadığını kabul ederiz. Fakat bu ışığinkinden önemli ölçüde daha sıkıntı verici bir sorundur, çünkü kuantum dalgaları *maddedir* ve dahası bir maddenin titreşimleriyle temel düzeyde uyumsuz ölçülebilir yönleri sahiptir. Onlar ayrı bir şeydir ve farklıdır. En hoşuma giden analoji Christina Rossetti'ninkidir:¹⁴

*Rüzgârı kim görmüş?
Ne sen, ne ben:
Ama ağaçlar başlarını eğdiklerinde
Rüzgârdır geçen.*

Mutsuz edici bir şekilde, kuantum mekaniğinin başka dünyaya aitmiş gibi oluşu, onun daha da başka dünyadanmış gibi olan, ama ağaca bakmaktan ormanı gözden kaçırarak “yorumlarına” dalmak için uygun bir gerekçedir.¹⁵ Bu önermelerin çapraşık yapısı lisans öğrencilerinin aklını başından alır,

¹³ Kimin “dalga”yı icat ettiği konusunda sert bir tartışma vardır. İddia edenlerden biri olan Krazy George Henderson internet sitesinde bunun 15 Ekim 1981’de Oakland A’s ile New York Yankees arasındaki bir Amerikan Ligi playoff maçında gerçekleştiğini ve televizyondan yayınlandığını söyler. Henderson yazarlığının daha sonra Howard Cosell’in yayında Don Meredith ile yaptığı bir konuşmada kabul edildiğine dikkati çeker. Diğer iddia Washington Üniversitesi’ndir. Üniversite Henderson’un dalgasının eksiksiz olmadığını ve ilk gerçek dalganın 31 Ekim 1981’de Rob Weller tarafından icat edildiğini söyler. *Bkz.* <http://www.gameops.com/sro/krazy/home.htm> ve <http://depts.washington.edu/hmb/thehmb/history4.shtml>.

¹⁴ C. G. Rossetti, *Rossetti: Poems* (Knopf, New York, 1993).

¹⁵ Örneğin *bkz.* B. S. DeWitt, H. Everett ve N. Graham, *Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics* (Princeton University Press, Princeton, 1973)

ama biz geri kalanların sinirini bozar, çünkü bunlar sonuçta kuantum mekaniğinden beliren davranışı kuantum mekaniği olarak değil, kuantum mekaniğini ondan beliren davranış olarak açıklama girişimlerinden ibarettir. Bir başka deyişle başarısız olmuş bir dünya görüşünün belirtileridirler. Bu konuda hoşgörölü olmaya çalışırsınız, ama bazen acımasız olmak çok baştan çıkarıcı gelir.

Yaşlandıkça aldığımız derslerden biri, yanlış algılamaların aslında çılgınlığın olmadığı yerde çılgınlığa neden oluyor gibi görünebildikleridir. Bu, birçok iyi esprinin kaynağıdır ve evrensel cazibesi de deneyimin kendisinin evrenselliğinden gelir. Eğer kahraman önemli bir şeyi kökünden inkâr ediyorsa çok daha etkili olur. Lisansüstü öğrenciliğimin ilk zamanlarında pejmürde bir dairede yaşıyordum. Daireyi profesyonel kısıtlamalar gerektirdikçe evden ayrılan ya da yerleşen başka öğrencilerle paylaşıyordum. Kısa bir süre boyunca bu ev arkadaşlarından biri Kamerun'dan gelmiş, mühendislik okuyan sıcakkanlı bir genç oldu. Özellikle sözsöz kabiliyeti açısından etkileyici bir kişiydi; çünkü İngilizce, Fransızcadan sonraki ikinci yabancı diliydi. Ailesi de ilginçti, Decca Records'un yıldızlarından biri olan müzisyen bir kuzeni vardı. Bir keresinde bu kuzen ve bir arkadaşı Paris'ten gelip birkaç hafta bizimle kaldılar, böylece plağını dinleme imkânı buldum. Ondan pek hoşlanmadım. Fransız Disco müziği idi, uzun zaman tika tika tika tika diye devam ettikten sonra onun "ugh" demesine yetecek kadar süre duraklıyor, sonra yine tika tika diye devam ediyordu. Bu ziyaretlerinde beraberlerinde besin de dâhil bir sürü hediye getirmişlerdi. Talihsizlikleri şuydu ki evimiz tam bir hamamböceği istilasının altındaydı. Ev sahibine sert bir şekilde şikâyet ettiğimiz ve birkaç kere kendimiz dendiğimiz halde küçük canavarların kökünü kazımak imkânsızdı. Yandaki odaya koşturup saldırının bitmesini bekler, sonra odayı tekrar istila ederlerdi. Nerede yaşadıklarını ya da ne yediklerini bilmiyorum, ama belli ki çoğalmaya ve ışıklar söndükten sonra mutfakta dev partiler vermeye bayılıyorlardı. Gün ışığında onları en akla gelmedik yerlerde, mesela bir kibrit kutusunun arkasında,

fırının üst kısmının içinde, çatal-bıçak çekmecesinde çatal-
ların altında bulurduk. Bu duruma düşmüş çoğu insan gibi
biz de yemek yemeden önce her şeyi özenli bir şekilde yıka-
ma ve bütün açık yiyecek kaplarını, mesela gevrek kutula-
rını buzdolabında tutma alışkanlığı edindik. Dolayısıyla bu
gençlerin Paris'ten geldikleri gün işten eve geldiğimde, fıstık
ezmesi için dolaba elimi uzattığımda ve aşağı yukarı tavşan
büyüklüğünde kurutulmuş bir hayvanın iskeletiyle karşı-
laştığımda kapıldığım hayreti tahmin edebilirsiniz. Dehşet
içinde sormak için ev arkadaşımı mutfığa çağırdım. "Messi,
tavşanı burada tutamazsın," dedim. Bir an anlamadan bana
baktı, sonra nihayet anlayıp yayvan bir biçimde gülümsedi.
"Ho ho ho," dedi. "Sorun yok. O bir tavşan değil."

(Altı)

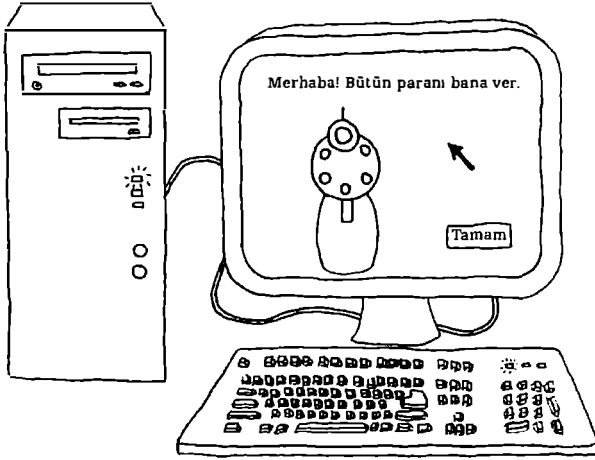
KUANTUM BİLGİSAYARI

Yaşadığımız çağ düşünen makinelerle gurur duyulan, düşünmeye çalışan insanlardan ise şüphelenilen bir çağ.

H. Mumford Jones

Bir sabah arabayla işe giderken radyoda kadınların bilgisayarları erkeklere göre daha iyi anladığına dair çok ilginç bir iddia duydum.¹ Spiker bunu sadece dolaylı olarak dile getirdi ve siyaseten doğru olmaya özen gösterdi, ama yine de yorumunun ana fikri açıktı. Görüşünü açıklamasının ardından muhtemelen haklı olduğunu anladım. Erkekler hep bilgisayar kurcalamak, sökmek, bellek ve yan birimler eklemek isterler, buna karşılık kadınlar bir evlilik hediyeleri partisine yüzlerce e-posta daveti göndermek gibi daha önemli şeylere odaklanırlar diyordu. Bu benim teknolojik nesnelerle yaşadığım deneyimlerle yüzde yüz uyumludur. Arabamız bozulduğunda ben ne olduğunu anlamaya kafayı takarım, eşimse dünya kadar para verip onu tamir etmek ve sinemaya gitmek ister. Görünüşe göre kadınlar bir şeyin ne için kullanıldığının nasıl çalıştığından çok daha önemli olduğunu sezgisel olarak daha iyi anlıyorlar.

¹ Bu kişiyi Cokie Roberts diye hatırlıyorum, ama referansı bulamıyorum. Bkz. C.Roberts, *We Are Our Mothers' Daughters* (William Morrow, New York, 1998).



Hesaplama devasa bir işlevler kulesine dayalıdır.

Bilgisayarlar bu teknolojik hayat gerçeğinin özellikle yararlı bir örneğidir, çünkü çok saydam bir şekilde hiyerarşıktirler. En yüksek seviyede e-postayı depolayan, daha resmi yazılı iletişimlerini yönlendiren ve internet müzayedelerinde fırsatlar aramaya izin veren araçlardır. (Tatsız video oyunları, gizli pornografik dosyalar, telif hakkı olan şarkılar ve filmleri değiş tokuş etmek gibi daha az pratik kullanım alanları da vardır, ama bunlar zaman kaybıdır ve sayılmazlar.) Bir aşağı seviyede işlemci, anakart, Voodoo ve Rage gibi isimleri olan, çok güçlü oldukları için ekstra fanlar içeren harika şeylerin olduğu genişleme yuvaları bulunur. Daha aşağıda olağanüstü tel ağları ve dağınık transistörleri olan silikon mikro yongalar, daha aşağı seviyede de elektronların ve deşiklerin aralarından yayıldıkları düzenli silikon atomları kafesi bulunur.² Her biri aşağıdaki üzerinde duran ve üstündekini destekleyen devasa bir işlevler kulesinin güvenilirliği sayesinde bütün bu davet e-postalarını üzerinde çok fazla düşünmeden göndermek mümkündür. Her bir seviyenin na-

² Bu teller labirentinin nasıl işlediği J. L. Hennessy, D. A. Paterson ve D. Goldberg, *Computer Architecture: A Quantitative Approach*'ta (Morgan Kaufmann, San Francisco, 2002) açıklanmaktadır.

sıl işlediği önemsizdir. Davetler ellerinde kâğıt parçaları ve minyatür telefonları olan küçük cüceler tarafından da gönderilmiş olabilirdi, ama onlar muhtemelen daha çok para isterlerdi.

Bilgisayarlar makinelerdir. Bütün diğer makineler, örneğin çim biçme makinesi ya da buhar motoru gibi bilgisayar da maddeyi bir yerden diğerine taşıyarak çalışır. Söz konusu madde yalnızca elektronlardan oluştuğu için kolayca ve çok büyük bir hızla taşınabilir, ama kavramsal olarak bir otomobildeki piston kolu ya da krank miliyle aynıdır.³ Sonuçta bilgisayar mühendisliğinin hedefi yine bir mekanik bağlantılar grubuna fiziksel bir şey yaptırmak, örneğin bir sayfaya mürekkep bastırmak, bir hoparlör konisini hareket ettirmek ya da bir ekran pikselindeki sıvı kristali döndürmektir. Bilgisayarlar sıklıkla yirmi birinci yüzyılın büyümlü teknolojisi olarak nitelenir, ama aslında on dokuzuncu yüzyılın en parlak başarısıdır.

Bilgisayarlarla diğer makine türleri arasındaki kilit farklardan biri mekanik bağlantılarının kolaylıkla değiştirilebilmesidir. Değiştirme süreci programlama adını taşır ve bir dönem ödevinin yazılması gibi kibar bir görünüme sahiptir, ama daha fazla kahve tüketilir ve daha çok küfredilir.⁴ Fakat görünüş aldatıcı olabilir. Bu etkinlik dönem ödevi yazmaktan çok otomobil tamirhanesine yakındır. Basit parçalar arasında karmaşık mekanik ilişkiler inşa edersiniz, sonra bunlar işçiliğinize bağlı olarak çalışır ya da çalışmaz. Yalnızca tornalar ve tork anahtarlarının yerini kurşun kalemler ve klavyeler almıştır.

Bilgisayarlarla otomobiller arasında değiştirme kolaylığının neden olduğu bazı niteliksel farklar vardır. Örneğin fiziksel mikro işlemciyi yapmanın maliyetinin programlamanın işçilik maliyetinin çok altına çekilmesi mühendisliğin ekonomisini kökünden değiştirir. İşte bu yüzden yazılımlar

³ Yarı iletken işlevi ve tasarımıyla ilgili mükemmel bir referans C. T. Sah, *Fundamentals of Solid-State Electronics*'tir (World Scientific, Singapur, 1991).

⁴ Neden küfür olduğunu anlamak için bkz. B. W. Kernighan and D. M. Ritchie, *The C Programming Language* (Prentice Hall, New York, 1988).

çok pahalıdır ve tekelleştirilmeleri çelik demiryolları ya da petrolün tekelleştirilmelerinden çok farklıdır.⁵ Ayrıca programlama bilgisayarın günlük kullanımına yeterince yakın olduğu için, bu iki eylem insanların zihninde bir tür aşırı soyutlayıcı düşünüşle birbirine karışır. Çoğu insanın deneyimlediği haliyle bilgisayar kullanımı makinelerin kendilerinin temellerinden karmaşık ekonomik faaliyet katmanlarıyla ayrılır ve bu bakımdan klasik bir belirme örneğidir. Modern bilgisayar programları dev ekipler tarafından yaratılır, ekip üyelerinin her biri görevin yalnızca küçük bir kısmını anlar ve bu programlar çoğu zaman sonradan birbirleriyle yaratıcılarının hayal bile edemedikleri biçimlerde etkileşime girerler. Bu sosyolojik olgu elektrik aracılığıyla mümkün olmuş ucuz programlanabilirlik denilen basit gerçeğin man-tıksal bir içerimidir.

Değişikliği kolaylaştırmanın sırrı, transistör eylemini kullanarak sebeple sonuç arasındaki farkı ortadan kaldırmaktır. Kişinin kendi düşünüşünde bununla basit bir benzerlik vardır. Gaz memesi açılırsa çabucak elimi fırının içinden çekerim, ama birine telefon etmem gerektiğini hatırlarsam da elimi çekerim. Elimi kımıldatan karmaşık devreler ya ateş gibi harici bir uyarıcıyla ya da yüzeye çıkan bir anı gibi dâhili bir uyarıcıyla başlatılabilir. İkisi arasında soyut bir kategorizasyon dışında bir fark yoktur. Kişinin gerçek olaylarla hayali olayları birbirine karıştırmaya başladığı zihinsel bir hastalık olması halinde işler ters gidebilir. Transistör bir eşitleyicidir. Bir teldeki elektronların bir hareketini algılar ve başka bir telde ilk hareket ne kadar küçük olursa olsun her zaman aynı büyüklükte bir elektron

⁵ Yazılım tekeli üzerine çok büyük ve son derece politikleşmiş bir literatür vardır. Bunu temsil eden bazı eserler şunlardır: K. Aulet, *World War 3.0: Microsoft and Its Enemies* (Random House, New York, 2001); R. B. McKenzie, *Trust on Trial: How the Microsoft Case Is Reframing the Rules of Competition* (Perseus Publishing, Cambridge, Massachusetts, 2000); D. B. Kopel, *Antitrust after Microsoft: The Obsolescence of Antitrust in the Digital Era* (Heartland Institute, Chicago, Illinois, 2001); S. J. Liebowitz ve S. E. Margolis, *Winners, Losers, and Microsoft* (Independent Institute, Oakland, CA, 2001). Dijital mülkiyetin daha büyük içerimleri L. Lessing, *The Future of Ideas*'te (Random House, New York, 2001) ele alınmıştır.

hareketi üretir. Bu bilgisayarlardaki hareketlerin ya hep ya hiç şeklinde olmalarına, her bir telin ya açık ya da kapalı durumunda olmasına, asla arada olmamasına yol açar. Aynı zamanda belirli bir telin ölçümünün sinyalin başlangıçta geldiği yer hakkında hiçbir bilgi içermemesine yol açar. Açık ya da kapalı olma kararı harici bir uyarıcıya, başka bir transistöre ya da dev, iç içe bir transistörler basamağına dayalı olabilir. Arada fark yoktur.

Bilgisayarlardaki sinyaller Newton kanunlarına uygundur. Kimi zaman bunu gözden kaçırmız, zira bilgisayarlarda kuantum mekaniğiyle aynı şekilde gizemli olarak görülürler, ama bu tam anlamıyla geri kafalıdır. Bilgisayarların gizemliliği mikroskobik hususlardan değil, işlevlerinin belirme özelliğinden gelir. Transistörler seviyesinde bilgisayarlarda kesin olarak ölçümde mutlak kesinlik fikrini temel alırlar, zira sadece bu herhangi bir andaki açık ya da kapalı (doğru ya da yanlış) fikriyle uyumludur. Transistörler Newton kanunlarına uygun kavramlar olmakla kalmazlar, bütün durumlarda elektronların büyük hareketlerini oluşturarak Newton kanunlarına uygunluk *yaratırlar*. Bunu yaparken ısı üretirler; hem de çok fazla.⁶ İşte bu yüzden modern işlemci yongaları dokunulduğunda sıcak olur ve özel fanları arızalanırsa bozulurlar. Isının üretilmesi güvenilirliği sürdürmek için çok önemlidir. Bunun nasıl böyle olabileceğini görmek için ünlü ucu üzerindeki kurşun kalem örneğine dönmek yararlıdır. Pratikte sağa değil de sola düşme kararı kalıcıdır, çünkü masaya çarptığı zaman bütün enerjisini ısı halinde dağıtır. Dağıtmasaydı –masayla teması kusursuz bir elastik sekme şeklinde sonuçlansaydı– kurşun kalem kendini tekrar doğrultur ve sol-sağ kararını ikinci bir kere verir, belki bu sefer ilkinin tersi sonuç olurdu. Yani gücün dağılımı ve ısının üretimi karar almak için zorunludur, bu başlangıçta hassas dengenin olduğu durumlar için, dolayısıyla da bü-

⁶ Mikroçiplerin ısı üretimi aynı zamanda temel bir tasarım kısıtlamasıdır. 2004'ün ilkbaharında Intel aşırı ısı üretimi nedeniyle mikro işlemci tasarımlarının en yeni nesilleri (Tejas ve Jayhawk kod adlı) üzerine araştırmalarını durdurduğunu açıkladı. *Bkz. International Herald Tribune'un* 17 Mayıs 2004 tarihli sayısı. <http://www.iht.com/articles/50233.html>.

tün modern bilgisayarların işlemesi için özellikle geçerlidir. (Aynı şeyi şirketler ve devlet gibi insan kurumları için de söylenebilir: Önemi olan kararlar geri çevrilemez.)

Transistör tasarımıındaki iki küçük değişiklik gerçek bilgisayarlar yapılmasına izin verir. Bunlardan biri, transistöre iki giriş teli vermek ve iki girişten herhangi biri açıksa açık olmasını sağlamaktır. Diğer bir olumsuzlamadır; böylece transistör açıksa giriş teli kapalı, transistör kapalıysa giriş teli açık olur. Bu iki tasarım öğesi *mantık* adıyla anılır ve bütün bilgisayar devrelerinin kavramsal temelini oluşturur. Modern bilgisayarlar basitçe dev bir mantık ağı ve bir saat-ten, yani telleri kalp atışı gibi düzenli bir şekilde açıp kapayan küçük bir devre parçasından oluşur. Modern ev bilgisayarlarının saat kalpleri çok hızlı –filen saniyede yaklaşık bir milyon kere–, ama sağlam ve kahraman bir şekilde atar. Kalp yetmezliğinden ölen iki bilgisayarım oldu, ama böyle ölümler nadirdir. Nerdeyse her zaman ölüm meleği gelmeden çok önce bilgisayarların modası geçer.

Son zamanlarda kuantumun dolanıklığından yararlanarak şu anda geleneksel bilgisayarlarla imkânsız olan hesapları yapacak özünde yeni bir bilgiişlem donanımı türü olan kuantum bilgisayarına büyük bir ilgi var.⁷ Bu imkânsız hesapların en önemlisi çok büyük asal sayıların üretilmesi ve diğer çok büyük sayıların hızla çarpanlarına ayrılmasıdır. İki büyük asal sayının çarpımı olan bir sayıyı geleneksel bilgisayarlarla makul bir sürede çarpanlarına ayırmanın imkânsızlığı modern kriptografinin temelini oluşturur.⁸ Ancak, kuantum bilgiişleminin cevabı okuma sorunuyla yüzleşildiğinde açıklığa kavuşan korkunç bir Aşil topuğu vardır: Kuantum bilgi-

⁷ Kuantum bilgisayarlar üzerine büyük bir literatür vardır, ama neyse ki artık daha düşük bir hızla büyümektedir. Bkz. G. Johnson, *A Shortcut Through Time: The Path to a Quantum Computer* (Knopf, New York, 2003), R. K. Brylinski ve G. Chen, *Mathematics of Quantum Computing* (Chapman and Hall, Londra, 2002) ve D. Bouwmeester, A. Ekert, A. Zeilinger ve A. K. Ekert, *The Physics of Quantum Information: Quantum Cryptography, Quantum Teleportation, Quantum Computation* (Springer, Heidelberg, 2000).

⁸ B. Schneider, *Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C* (Wiley, New York, 1995).

sayarlarını geleneksel bilgisayarlardan ayırt eden etkiler aynı zamanda kuantum belirlenemezçiliğine de sebep olurlar. Kuantum mekanik dalga fonksiyonları hakikaten de belirlenimci bir şekilde gelişir, ama onları insanların okuyabileceği sinyallere okuma süreci hatalar oluşturur. Hata yapan bilgisayarlar çok kullanışlı değildir, bu yüzden kuantum bilgiişlemindeki en önemli tasarım sorunu ölçüm hatalarının üstesinden gelmektir. Bunu yapmanın tipik bir örneği küçük bir kutuya aynı deneyin bir milyon kopyasını yerleştirmek ve toplu olarak yaptıkları bir şeyi ölçmektir; örneğin elektron dönüşleriyle üretilen bir kuantum bilgisayarında salınımlı manyetik alanlar üretimi ölçülür. Böylece ölçüm sürecinin neden olduğu hasar yalnızca birkaç kopyayı etkiler ve gerisini sağlam bırakır. Bu numara o kadar güçlüdür ki, onun varyasyonlarıyla herhangi bir kuantum bilgisayarının bütün dalga fonksiyonunu –en azından prensipte– okuyabilirsiniz. Fakat bu kabiliyetin mantıksal bir içerimi yeni türde olağanüstü bir dijital bilgisayar değil, geleneksel bir analog bilgisayar (gürültüyle alt üst olduğu için modern çağda kullanmadığımız bir makine türü) yaratmış olmanızdır.⁹ Dolayısıyla bütün bu kuantum bilgiişlem çılgınlığı kilit bir noktayı, bilgiişlemin güvenilirliğinin fiziksel temelinin beliren Newton kurallarına uygunluğu olduğunu gözden geçirir. Nasıl kaba kuvvetle kırılmış simetrisinin meydana geldiğinin kanıtlanabileceği düşünülebilirse, bu prensiplerden yararlanmaksızın bir hesap yapılabileceği de düşünülebilir, ama çok daha muhtemel bir sonuç, fiziksel temel mevcut olmadığı için hesap hatalarını ortadan kaldırmanın özünde imkânsız olduğunun anlaşılmasıdır. Bu sorunun önemsiz olduğu görüşü indirgemeci inançlardan ileri gelen bir fantezidir. Doğal olarak, hatalı olduğumu ümit ediyor ve kuantum bilgiişleme yatırım yapanlara bol şans diliyorum. Ayrıca aşağı Manhattan'da bir köprüye yatırım yapmak isteyenlerin hemen benimle iletişime geçmesini rica ediyorum, çünkü geçici bir süre için indirim yapıyorum.

⁹ Analog bilgisayarlardaki gürültü sorunları B. H. Vassos ve G. W. Ewing, *Analog and Computer Electronics for Scientists*'te (Wiley, New York, 1993) açıklanmaktadır.

Elbette, *gerçek* kuantum bilgisayarı bildiğimiz silisyumdur.¹⁰ Transistörlerin temelini oluşturan yarı iletkenlik ilkeleri ve geleneksel iletken tellerle yalıtıcılar arasındaki fark son derece kuantum mekanikseldir. Bu gerçek Ferdinand Braun 1874'te kurşun cevheri galeni başta olmak üzere bir dizi metalik sülfite yaptığı incelemelerde yarı iletkenliği keşfettiğinde bariz değildi.¹¹ Ancak çok sonra, radarın geliştirilmesi ve onunla ilişkili olarak transistörün icadıyla birlikte büyük ölçüde efsanevi John Bardeen tarafından bu etkilerin kuantum doğasına dair sistematik bir anlayış geliştirildi. Kristalli yalıtıcılar elektriği kötü iletirler, çünkü elektronlarının tamamı kimyasal bağlardadır. Örneğin silisyum özel durumunda her bir atomun dört komşusu ve bağlanma için elverişli dört elektronu vardır; bu, her zamanki bağ başına iki elektron kuralının tam olarak tükettiği bir sayıdır. Fakat kuvars ya da sofrata tuzu gibi son derece iyi yalıtıcıların tersine, silisyumun kimyasal bağları zayıftır ve kolayca bozulur. Bir elektron bir kere bağından koparıldıktan sonra, silisyum da ardında kalan deşik de silisyumda dolaşmakta serbesttir. Yarı iletken cihazların doğrultma ve güçlendirme eylemlerinin tamamı bu serbest kalmış elektron ve deşiklerin kimyasal değişiklikler ve bağlanmış teller vasıtasıyla manipüle edilmesinden gelir. Önemi olan kuantum mekaniği, bağlama kurallarını ve serbest kalmış elektron ve deşiklerin hareketini düzenler.

Elektronlar ve deşikler soğuk kristalin silisyumun içinde sanki o hiç yokmuş gibi hareket ederler.¹² Bu hayrete düşürücü gerçek, transistörlerin işleyişinin temelini oluşturur ve kauçuk ya da plastik gibi kristalli olmayan maddelerden

¹⁰ Yarı iletkenlikle ilgili fizik ilkeleri üzerine klasik bir referans J. C. Phillips, *Bonds and Bands in Semiconductors*'tır (Academic Press, New York, 1973).

¹¹ Ferdinand Braun aynı zamanda osiloskopu da keşfetti. Bkz. F. Kurylo, Ferdinand Braun, *a Life of the Nobel Prizewinner and Inventor of the Cathode-Ray Oscilloscope* (MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1981). Ayrıca bkz. http://www.fbh-berlin.de/englisch/f_braun.htm.

¹² Elektronların ve deşiklerin yarı iletkenlerdeki balistik hareketi siklotron rezonansı yoluyla doğrudan tespit edilir. Bkz. G. Landwehr, *Landau Level Spectroscopy: Part II* (North-Holland, Amsterdam, 1990).

asla verimli transistörün yapılamamasına sebep olur.¹³ Hakikaten de, silisyum çağını müjdeleyen teknik atılım transistörün icadı değil, kristallerin kimyasal ve yapısal kusurlarını sistematik olarak ortadan kaldırmanın bir yöntemi olan bölge arıtmanın icadıydı. Elektron vedeşiklerin kafes boyunca mermi gibi hareket edebilme kabiliyeti açık değildir, çünkü bir silisyum parçası kavramsal olarak dev bir molekülden farksızdır ve dolayısıyla bağlardakiler dâhil *bütün* elektronların son derece dolanık hareketleriyle nitelenmelidir. Bu sorunun çözümü, belirmenin dolanıklığı ilgisiz hale getirmesidir. Kristalli yalıtıcıların kesin ve evrensel olarak yalıtılmış elektronların hareketleri gibi görünen ve davranan bütün elektronların özel toplu hareketlerine sahip oldukları anlaşıyor. Altlarında yatan bütün o korkunç karmaşıklığın tek etkisi, ivmelenme kütlesini serbest bir elektronunkinden biraz farklı yapmak ve elektrik kuvvetlerinin fiili gücünü azaltmaktır. Birdeşik bir elektron eksikliğini temsil ettiği için, elektrik yükünün bir elektronunkinin tersi olduğu ortadadır. Bir elektrondan ya dadeşikten söz eden bir mühendis, gerçekte yalıtılmış bir parçacıktan değil, bu karmaşık toplu hareketlerden söz ediyordur. Mühendislik açısından bu karmaşıklık bilgisayarların davetiyeleri gönderme biçimlerinden daha önemli değildir. Önemli olan, toplu hareketin parçacık benzeri doğasının kesin ve güvenilir olmasıdır.

Silisyumdaki elektronlar vedeşikler muhteşem bir şekilde kuantum mekanikseldir. Bu cisimler hiç de serbest olmamalarına ve korkunç derecede dolanık olmalarına rağmen şu ana kadar elde edilmiş en isabetli kuantum mekanik testlerinden bazılarını sunarlar. Bunun çok güzel bir örneği fosforlu safsızlıkların çizgi spektroskopisidir. Eritilmiş silisyuma küçük miktarlarda eklenen fosforlu atomlar, kafes kristalleştiğinde içindeki silisyum atomlarının yerine geçerler. Bu silisyum atomunun yerine geçen fosforlu atom, beş dış elektronunun dördünü kimyasal bağlar kurmak için

¹³ Kristalin olmayan elektroniğin kapsamlı bir değerlendirmesi için bkz. J. Kanicki, *Amorphous and Microcrystalline Semiconductor Devices, Volume II: Materials and Device Physics* (Artech, Norwood, MA, 1992).

kullanır, beşincisini de etrafta dolaşması için serbest bırakır. Fakat son derece düşük sıcaklıklara inildiğinde serseri elektron bölgeye geri döner ve tıpkı bir elektronun hidrojen atomu yapmak üzere bir protona bağlanması gibi oraya bağlanır.¹⁴ Ancak fosforlu safsızlığa bağlanan elektron belirgin dalga boylarında gözle görülür ışık yaymak yerine, belirgin dalga boylarında kızılaltı ışık yayar, çünkü onu fosforlu bölgeye bağlayan elektrik kuvvetleri güçlü bir şekilde azalmıştır. Bu ışık geleneksel kızılaltı spektrometrelerle tespit edilebilir. Safsızlığın spektrumu bir atomunkine benzer olmakla kalmaz, yayılan ışığın özel dalga boyları dışında bir atomunkinden *fiziksel olarak da ayırt edilemez*. Bağlama işini yapan cismin toplu doğası neredeyse yok olmuştur. Bunun gibi bir sürü deney vardır, zira bir silisyum parçasında elektrik kuvvetlerinin azaldığı, elektronların kütlelerinin değiştiği ve elektronun ters yüklü bir kardeşinin olduğu, ikisinin beraber yok olarak ışık yaratabildikleri minyatür bir dünya vardır.

Elektronların ve deşiklerin kuantum doğası neredeyse kesin olarak Moore kanununa temel bir sınırlama koyar. Intel kurucusu Gordon Moore'un bu ünlü gözlemi, belirli bir silisyum alanındaki transistör sayısının her 18 ayda bir iki katına çıkma eğiliminde olduğunu belirtir.¹⁵ Moore kanununun, bilgisayarların altlarında yatan temel ilkeler o kadar basit olduğu halde, bizi şaşırtmaya devam edebilmesinin ana sebeplerinden biridir. Bilgisayar çağının başında bir silisyum yongasına daha fazla transistör ve tel sığdırmak için onları küçültmenin güvenilirliklerini de artırdığı keşfedildi. Böylece başlayan giderek daha yüksek yoğunluklar elde etme yarışı bugün hâlâ devam ediyor. Şu anda yonga üreticileri daha önce karşılaştıkları sorunları solda sıfır bırakan korkunç ısı üretimi ve optik litografi sorunlarıyla mücadele ediyorlar, ama neredeyse herkes kısa zamanda bunların üs-

¹⁴ Fosfor katkılanık silisyumdaki bir hidrojen benzeri çizgi spektrumunun özellikle güzel bir örneği G. A. Thomas vd, *Phys.Rev.B* 23, 5472'de (1981) bulunur.

¹⁵ Moore kanununun ilk referansı G. E. Moore, *Electronics* 38'dir (1965). Ayrıca bkz. J. Fallows, *The Atlantic Monthly* 288, 44 (2001) ve <http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm>.

tesinden gelineceğine ve Moore kanununun kuantum sınırına kadar korunacağına inanıyor. Ama yaklaşık on yıl içinde transistörler o kadar küçülecek ki kuantum mekaniksel hale gelecek, dolayısıyla da hatalar yapmaya başlayacaklar. Bu gerçekleştiğinde tarihte küçük fiziksel bir keşfin içerimlerinin ekonomiye yansıdığı ve dünyayı değiştirdiği kayda değer bir dönemin sonu da gelmiş olacak.

Bilgisayar çağının ilginç trendlerinden biri, fizik bölümü öğrencilerinin giderek artan bir şekilde bilgisayar kodu yazmaya isteksiz ya da yeteneksiz hale gelmesidir. Bunu ilk gözlemlediğimde çok keyfim kaçtı ve sorunu gidermek için bölümümde öğrencilerin çok canını sıkan sert önlemler aldım, çünkü ben çok iyi kod yazarım ve onu kendine saygısı olan her teknoloji uzmanının bilmesi gereken bir şey olarak görürüm. Ama sonunda öğrencilerin haklı, benimse haksız olduğumu fark ettim ve mücadeleme son verdim. Bilgisayar programlamak kendi arabasını tamir etmek gibi hayattaki büyüleyici, eğlenceli, yararlı ve kabul edilemeyecek kadar çok zaman alan şeylerden biridir. Gerçek şu ki artık çoğu iyi eğitilmiş insan için kendi bilgisayarlarını programlamak, hatta bunu yapmayı öğrenmek de bile maliyet etkin değildir. Biraz para harcıyıp istediğiniz işi yapan bir program satın alarak ya da aşırı durumlarda ücretsiz yazılımlar için internette arama yaparak zamanınızı çok daha akıllıca kullanmış olursunuz.

1970'lerin başında ben bir yüksek lisans öğrencisiyken ekonomi şimdikininki tam tersiydi. Öğrenci işgücü ucuzdu, bilgisayarlar ise üniversitelerin bilgisayar merkezlerinin bütün katlarını kaplayan son derece pahalı ana bilgisayarlardı. O makineler şımartılırdı, gece gündüz vardiyalı olarak çalışan bir sürü görevlileri ve elektrik jeneratörleri içeren özel klimaları olurdu. Gecenin geç saatlerinde ayı büyüklüğünde gri metal makinelerde o canavarlar için bilgisayar programları yazardık. Bu makinelerden biri motoru mırıldanarak çalışırdı, sonunda bir tuşa bastığınızda biraz titrer, çıtırdar ve koyduğunuz deşikli karta yeni bir deşik açardı. Kartla işiniz bittikten sonra besleme tuşuna basardınız ve

makine kartı klik-çıtır-çıtır sesleriyle döndürüp büyüyen yığının en altına koyar, sonra yeni, boş bir kart beslerdi. Yazdığımız bilgisayar programları bu şekilde değişik açılan kart desteleri halinde gerçeğe dönüştürülür, lastik bantlarla bir arada tutulur ve mukavva kutularda depolanırdı. Programı çalıştırmak için destenizi görevliye verirdiniz, o da onu benzinli bir ahşap uçak gibi görünen ve fanına yaprak sıkışmış bir elektrik süpürgesi gibi ses çıkaran bir aygıt olan kart okuyucuya beslerdi. Yazıcı arka planda sürekli olarak metalik ses kapağının altından inler ve çıldırmış gibi ardı ardına kocaman beyaz bilgisayar kâğıdı sayfaları fırlatırdı. Her birkaç dakikada bir görevli ses kapağını açıp odayı dayanılmaz bir tiz sesle doldurarak bu çıktıyı alır, ardından onu uygun kırışık yerlerden yırtar ve öğrenciler alsın diye kutulara koyardı. Bu çıktıların çoğu anlaşılmasız işletim sistemi saçmalıklarından oluşur, son sayfada gerçekten hesapladığınız şey olurdu; şüphesiz, kodda bir hata yoksa. Hata varsa, hatanın ciddiyetine bağlı olarak ya bir hiçlik ya da birkaç santimetrelik anlamsız çekirdek dökümü çıktısı olurdu. Bütün bunlar inanılmaz masraflıydı. Öğrenci arkadaşlarımdan biriyle üç kutu dolusu deste vermesinden hemen sonra konuştuğumu ve ellerinin titrediğini gördüğümü hatırlıyorum. Ne günlerdi ama.

Gelmiş geçmiş en ünlü deste hikâyesi devasa bir hidrodinamik benzetim koduyla dolu bir kutuyla ilgiliydi. Biri onu yere düşürünce içindeki bütün kartlar etrafa uçuşmuştu. Söz konusu programa hemen Nixon lakabı takılmıştı, çünkü bir daha çalışmayacağı ortadaydı. Ama neyse ki yeniden çalıştı ve bugün lazer füzyonu benzetimi için kullanılan başlıca yazılım olan gizli program Lasnex'in çekirdeği haline geldi.¹⁶

Dolayısıyla bilgisayar becerilerindeki cinsiyetçi şakanın merkezinde, bilgisayarların varlığını, güvenilirliğini ve yararlılığını örgütlenme ilkelerine –ekonomik olanlar dâhil–

* İngilizcede hem "çalışmak" hem "adaylığını koymak" anlamına gelen "run" sözcüğü kullanılmış –çn.

¹⁶ Örneğin bkz. J. D. Lindl, *Inertial Confinement Fusion: The Quest for Ignition and Energy Gain Using Indirect Drive* (Springer, Berlin, 1997)

borçlu olmamız gibi daha önemli bir gözlem yatar. Kadınların örgütlerin üstünlüğünü daha kolay anlamaları yeni bir bilgi değildir, zira bu antik çağda bile biliniyordu ve sayısız yerde, özellikle *I Ching*'de belirtilmişti.¹⁷ Taoist felsefeye göre, evren birbirine karşıt, sürekli olarak birbirini üreten ve birbirinin yerine geçen iki ilkenin, yin ve yang'ın çatışması vasıtasıyla devinir. Yang; erkekliği, güneşi, ısıyı, ışığı, baskınlığı, vs temsil eder. Yin; kadınlığı, ayı, maddevi biçimleri, soğuğu, teslimiyeti, vs temsil eder. Dağın güneşli güney yüzü olan yang, yaratırken; gölgeli kuzey tarafı olan yin, yaratılmış şeyi tamamlar. Şu anda yin çağında olduğumuz söylenebilir ve erkekler yang tarafından var edilmiş olsalar da, ancak yin'in hâkimiyetiyle tam potansiyellerine ulaşmışlardır. Aynı şeyi söylemenin daha doğrudan ve batılı bir yolu, bilgisayarların başlangıçta köpekler olarak tasarlanmış olmaları, ama şimdi kedilere dönüşmüş olmalarıdır. Mağazadan eve getirdiğiniz makine zeki, kendi kendine hizmet eden, sürekli ayakaltında olan ve her zaman size istediği şeyi yaptırmak için planlar kuran bir şeydir. Ama ona lobotomi yapar, çok yönlülüğünü soyup atar ve dış görünüşün altındaki tellere, transistörlere ve algoritmalara uzanırsanız sorgulamayan bir itaat, kararlı bir sadakat, dobralık ve basitlik, yani bir köpek bulursunuz.

¹⁷ Taoist felsefeye ilgili birçok popüler kitap vardır. Bkz. A. Huang, *The Complete I Ching: The Definitive Translation by the Taoist Master Alfred Huang* (Inner Traditions Intl. Let., Rochester, Vermont, 1998).

(Yedi)

VİN KLİTZİNG

Eğer bilimsel akıl yürütme aritmetiğin mantıksal süreciyle sınırlı olsaydı, fiziksel dünyayı çok iyi anlayamazdık. Bu, poker oyununu sadece olasılık matematiğini kullanarak kavramaya çalışmaktan farksız olurdu.

Vannevar Bush

Püfür püfür bir yaz günü bir tur teknesinde bir nehrin akıntısıyla sürüklenirken profesyonel endişelerinize odaklanmanız zordur. Bilim insanları her zaman bütün o önerileri yazmanın, bütün o teknik sunumları yapmanın ve bütün o sık uçan yolcu puanlarını biriktirmenin ne kadar ıstırap verici olduğundan dem vururlar, ama bu şikâyetler samimi değildir ve böyle anlar yalan olduklarını gözler önüne serer. Çoğumuz bu ekstra gelirlerin bedelini ödemeye ve başka insanların hayatlarımızın aslında ne kadar keyifli olduğunu keşfetmelerini önlemek için herkesin içinde homurdanmaya hazırızdır. Şu anda kaçınılmaz bedel çok uzakta, zira hava sıcak ve tarlalar ile meyve bahçeleri yandan geçip gidiyor. Bilim zor bir iş, ama birinin yapması gerekiyor.

Stuttgart'taki Max Planck Enstitüsünün bir grup mezununun konuğu olarak Neckar'dayım. Mezunlar tekneyi efsanevi Klaus von Klitzing'e altmışıncı yaş günü hediyesi olarak kiralamışlar.¹ Bu sıcakkanlı insanlardan birçoğunu von Klitzing etkisi hakkında ilk kuramsal makaleler yazmaya başladığım 1980'lerin başından beri tanıyorum. Çoğu bu ülkenin

¹ Stuttgart'taki Max Planck Enstitüsü hakkında bilgi edinmek için: <http://www.mpi-stuttgart.mpg.de>.

yerlisi, ama benim gibi birkaçı başka ülkelerden geliyor. Bir yarı iletken fizikçileri topluluğundan bekleneceği üzere, uyruklar karışımında Japonya ve Amerika özellikle iyi temsil ediliyor, ama İsrail ve Rusya'dan da çok insan var, ayrıca İngiltere, Brezilya ve Meksika'dan da daha küçük gruplar gelmiş. Herkes bir dünya vatandaşı ve görünüşe göre artık "Eski Avrupa" dememiz gereken yerin bir sakini olan Klaus için bir anı yaratma ortak amacı için burada toplandı.²

Her zamanki gibi yaşını göstermeyen ve şevkli görünen Klaus'un nehrin aşağısında onu bekleyen gerçek sürprizden, dostlarının onun için kiraladığı bir kayalıktaki küçük üzüm bağından haberi yok. Tekne kıvrımdan dönerken neşeyle sohbet ediyor, sonra tepede ismi yazılı büyük tabelaya gözü ilişince aniden duruyor. Sabah yukarı çıkıp tabelayı yerleştiren iki öğrenci başında nöbet tutuyor. Fark edildiklerini görüp el sallıyorlar. Klaus hemen olanları anlıyor ve harekete geçiyor, ama artık çok geç. Bu anı bekleyen komplocuların gizlice dağıttıkları şampanya kadehleri coşkuyla doğum günü şerefine kaldırılıyor ve bu yüzden tekne biraz sallanmasına neden oluyor. Klaus'un nutku tutuluyor. Tekne üzüm bağının önünde kısa süreliğine duruyor, bu arada birkaç fotoğraf çekiliyor ve konuşma yapılıyor, bu arada şarabın kötü kaliteli üzümlerle karıştırarak hile yapmadan hazırlanacağı sözü de veriliyor. Şarap özel olarak şişelenecek ve *Vin Klitzing* etiketiyle dağıtılacak.

Büyük sürpriz akıntı, yukarı yönde geride kalsa da, sırada başka sürprizler var. Tekne ortaçağda kurulmuş Besigheim kasabasında kıyıya yanaşüyor ve orada meraklı kasaba sakinlerinden, mükemmel bir lise müzik grubundan ve on sekizinci yüzyıl kıyafetleri giymiş üç beyefendiden oluşan bir karşılama komitesi onu karşılıyor. Üç beyefendiden biri, belli ki liderleri, geniş kenarlı, bir metreye yakın yükseklikte bir silindir şapka takmış ve elinde kocaman bir şarap kade-

² Bu, ABD Savunma Bakanı Rumsfeld'in 22 Ocak 2003'te Pentagon Yabancı Basın Merkezinde söylediği ünlü bir söze atıftır. Rumsfeld Fransa ve Almanya'nın Irak işgaline hevesli olmamasıyla ilgili bir soruya verdiği cevapta bu ülkeleri "Eski Avrupa" diye yaftaladı. Bkz. http://www.defenselink.mil/transcripts/2003/t01232003_t0122sdfpc.html.

hi tutuyor. Bir tekne dolusu misafire kasabaya girmeleri için törensel bir davet sunuyor, sonra onları arnavut kaldırım sokaklardan geçirerek ziyafet için hazırlanmış büyük bir yemek salonuna götürüyor. Öğrenciler yemeğin –kuşkusuz onları dikkate alarak– açık büfe usulü sunulacağını duyunca çok seviniyorlar. Sonra tıka basa doymuş konuklar salondan çıkarılıyor ve kasabanın çevresindeki, aşağıda kesişip yüzlerce yıldır olduğu gibi köpükler saçan ve güneşte parlayan nehirlerin korumasını pekiştiren ortaçağdan kalma surlarda bir tura çıkarılıyorlar. Ardından grup yeniden tekneye biniyor ve güneşin son ışıklarıyla beraber şarkı söyleyip depolardaki birbirinden mükemmel şarapları tadararak –zira bu gezi diğer her şeyin yanı sıra bir tadım turu– yosunlu kanal havuzlarından geçiyor ve başladığı yere geri dönüyor.

Bu insanların Klaus'u onurlandırmak için giriştikleri aşırılıklar onun ne kadar çok saygı gördüğünün bir göstergesi. Bu hevesin kısmen yerel bir olgu olduğunu kabul etmek gerek. Mesela 1983'te Klaus'un Nobel Ödülünü kazandığının açıklandığı gün Almanya'da günlük televizyon yayını kesilmiş ve sürekli olarak buna ilişkin haberler verilmiş; bu, Amerika'da kesinlikle düşünülemez bir şeydir. O, İkinci Dünya Savaşından beri fizik dalında Nobel alan dördüncü Alman vatandaşı. Bu oldukça hassas bir konu, zira modern fizik yirminci yüzyılın ilk yıllarında Almanya'da icat edilmiştir.³ Ama Vin Klitzing dünyanın diğer yerlerinde de, özellikle Asya'da şatafatlı bir şekilde ağırlanıyor ve adeta her zaman ya dünyanın uzak köşelerindeki onursal sunumlara gidiyor ya da onlardan dönüyor.

Bu şöhreti hak etmek için yaptığı, olmaması gereken bir şeyi keşfetmekti; bu insanlığın dünya anlayışının sınırlı olduğunu, önyargılarımızın kanun olmadığını ve kuantum fiziğinin büyülü olduğunu ya da sık sık öyle görüldüğünü gös-

³ 1945'ten sonraki yıllarda Nobel Ödülünü kazanan diğer Almanlar 1954'te Walther Bothe, 1961'de Rudolph Mössbauer ve 1963'te J. Hans Jensen idi. Max Born da 1954'te kazandı, ama o zaman Britanya vatandaşı olmuştu. Von Klitzing'den sonra ise beş Alman Nobel ödülünü kazandı. *Bkz.* <http://www.nobel.se>.

teren şoke edici bir hatırlatma oldu.⁴ Vin Klitzing bu keşfini 1980'de Grenoble'daki bir yüksek manyetik alan laboratuvarında en gelişmiş elektronik bileşenler üzerinde ilginç ama oldukça rutin deneyler yaparken gerçekleştirdi. Bu bileşenler bugün mikro devre endüstrisinde kullanılanlardan bile daha zorlayıcı toleranslara uygun olarak yapılmış ve sonraki yeni nesil elektronik devrelerde kullanılabilecek yeni etkileri artırmak amacıyla ultra düşük sıcaklıklara indirilmişlerdi. Vin Klitzing, bu örneklerdeki daha önce görülmüş bir etki hakkında düşünmeye başladı. Bu etkide ölçümlerden biri, bir manyetik alan güçleri aralığında anormal derecede sabit hale gelmişti. Vin Klitzing; merakının, akademik eğitiminin ya da yalnızca ilhamının etkisiyle, deneyi ayarlayarak tam olarak ne kadar sabit olduğunu bulmaya karar verdi. Hayretle sabitliğin bir alan gücünden diğerine, bir günden diğerine ve bir örnekten diğerine bir milyon parçada birden daha iyi bir hassasiyetle aynı olduğunu keşfetti. O zamandan bu yana örnek kalitesi ve soğutma teknolojisinde yaşanan gelişmeler, bu tekrarlanabilirliği bir milyar parçada bire kadar çıkardı. Bu hassasiyeti değerlendirmek gerekirse, dünyada bulunan bütün erkek, kadın ve çocukları birini bile gözden kaçırma-dan saymak gibidir. Bu beklenmeyen, tahmin edilmeyen sabitliği keşfetmesiyle von Klitzing bilimin uluslararası süper yıldızlarından biri haline geldi ve o zamandan beri de bu statüsünü korudu.

Ölçümün kendisi –bir kere ne arayacağınızı bildiğinizde– basittir ve dünya çapında binlerce laboratuvar da tekrarlanmıştır, bu yüzden doğru olduğunu biliyoruz. Bir mıknatıs elektrik akımı taşıyan herhangi bir telin civarına getirildiğinde, akımın akışına dik açılarda bir gerilim ortaya çıkar. Bunun sebebi iletkende hareket eden elektronların serbest uzayda olacağı gibi mıknatıs tarafından sektirilmesi, bu yüzden telin bir tarafında birikmeleri, sonunda ürettikleri tepki geriliminin manyetik sekmeyi telafi etmesidir. Buna Hall etkisi adı verilir. Etki ismini onu 1879'da ilk defa keş-

⁴ Kuantum Hall etkisinin keşfini duyuran ilk makale K. von Klitzing, G. Dorda ve M. Pepper, *Phys. Rev. Lett.* 45, 494 (1980) idi.

fetmiş olan fizikçi Edwin H. Hall'dan alır. Normalde bir direnç olarak bildirilir ve bu şekilde üretilen gerilimi akıma bölerek hesaplanır. Normal sıcaklıklarda Hall direnci teldeki elektronların yoğunluğunu ölçer, bu yüzden de bu yoğunluğu manipüle ederek işleyen yarı iletken teknolojisinde önemlidir. Ancak çok düşük sıcaklıklarda kuantum mekaniği müdahale eder. Hall direnci-yoğunluk grafiği oda sıcaklığındaki gibi düz bir çizgi olmaktan çıkıp kıvrımlı bir hal alır. Von Klitzing'in üzerinde çalıştığı özel yarı iletken türünde –bilgisayar yongalarındakiler gibi alan etkisi transistörleri– sıcaklık düşürüldükçe bu kıvrımlar son derece düz basamakları olan bir merdivene dönüşür. Bu basamakların yükseklikleri, Hall direncinin evrensel kuantumlanmış değerleridir.

Hall direncinin evrenselliğini tespit ettikten sonra, von Klitzing çabucak bu şekilde tanımlanmış Hall direnci kuantumunun temel sabitlerin bir kombinasyonu olduğunu fark etti: Bu sabitler hepsini evrenin yapı taşları olarak düşündüğümüz elektrik yükünün bölünmez kuantumu e , Planck sabiti h ve ışık hızı c idi.⁵ Bu gerçeğin bariz içerimi, yapı taşlarıyla doğrudan uğraşmadan yapı taşlarını nefes kesici bir hassasiyetle ölçebilmenizdir. Bu son derece önemli ve çoğu fizikçi için son derece tedirgin edicidir. Aralarından daha dikkatli olanları, sayıları inceleyene kadar buna inanamazlar, inceledikten sonra bile bir hata olduğundan şüphelenirler. Ama hata filan yoktur. Çok sayıda deney vardır ve hepsi tutarlı ve su götürmezdir. Dahası, görünüşe göre sıcaklık düşürüldükçe ve örnek boyutu artırıldıkça von Klitzing ölçümünün hassasiyeti sınırsız bir şekilde artmaktadır. Bu nedenle; bu ölçüm, temel sabitlerin bu özel kombinasyonunun kabul edilmiş tanımı haline geldi.

Bu keşfin fiziğe yaptığı etkiyi abartmak imkânsızdır. İş arkadaşım Dan Tsui'nin von Klitzing makalesini Bell Labs'ın çay odasına getirdiği ve heyecanına zar zor hâkim olarak herkesi bu dudak uçuklatıcı hassasiyetinin nereden gelmiş olabileceğini düşünmeye davet ettiği günü dün gibi

⁵ Kuantumlanmış Hall formülü n tamsayıken $R = h/ne^2$ dir.

hatırlıyorum.⁶ Kimse bir açıklama getiremedi. Hepimiz von Klitzing'in örneklerinin kusurlu olduğunu biliyorduk, dola-
yısıyla da değişken olmalarını bekliyorduk. Yarı iletkenlerin
işlenmesinde her zaman kontrol edilemeyecek değişkenlik-
ler vardır, kristal kafesteki yapısal kusurlar, rastgele dâhil
olmuş katkı maddeleri, yüzeydeki şekilsiz oksitler, optik
litografiden geriye kalmış sivri kenarlar, teller takılırken
hantal lehim havyalarının yüzeye saçtığı metal parçaları,
vesaire. Bunların başka elektriksel ölçümleri etkilediği bili-
nir, çünkü bu konu mikro devreler için önemlidir, dolayısıy-
la kapsamlı olarak incelenmiştir. Ama bu beklentinin yanlış
olduğu ortaya çıktı. Keşiften sonra yapılan, bir kısmını da
benim yürüttüğüm kuramsal çalışmalar sonucunda, artık
kusurluluğun tam tersi etkiye sahip olduğunu, yani ölçümün
kusursuzluğuna *neden olduğunu* biliyoruz; bu en iyi Yunan
dramalarını aratmayan dramatik bir zıtlıktır.⁷ Kuantum Hall
etkisi aslında kusurluluktan kusursuzluğun ortaya çıkması-
nın muhteşem bir örneğidir. Bunun böyle olduğunu gösteren
kilit ipucu kuantumlanma hassasiyetinin –yani etkinin ken-
disinin– örnek fazla küçük olduğunda yok olmasıdır. Toplu
olgular hem doğada yaygındır hem de modern fizik bilimin-
de merkezi bir noktadadır; bu yüzden, etki ne eşsiz ne de
zor anlaşılırdır. Fakat von Klitzing etkisinin aşırı hassasiyeti
onun toplu doğasını inkâr edilemez hale getirir; etkinin özel
önemi de orada yatar.

Aradan geçen yıllarda kuramsal fiziğin içinde yaşayıp
onun yöntemleri ve tarihi akımlarını iyice tanıdıkça, von
Klitzing'in keşfinin bir dönüm noktası, fizik biliminin in-
dirgemecilik çağından tamamen dışarı çıkıp belirme çağına
adım attığı tanımlayıcı bir an olduğunu kavradım. Bu kayma
popüler basında çoğunlukla fizik çağından biyoloji çağına
geçiş olarak tarif edildi, ama bu tam olarak doğru değildir.
Tanık olduğumuz şey, doğayı gittikçe daha küçük parçalara

⁶ Bell Labs'ın o zamanlar çay odasına ek olarak daha birçok olağanüstü
gelenegi vardı. *Bkz. J. Bernstein, Three Degrees Above Zero* (Cambridge U.
Press, Londra, 1987).

⁷ Von Klitzing etkisinin hassasiyetini yerelleşmeyle ilişkilendiren ilk ma-
kaleyi ben yazdım. *Bkz. R. B. Laughlin, Phys. Rev. B* 23, 5632 (1981).

ayrıştırarak anlama amacının yerini doğanın kendini nasıl düzenlediğini anlama amacının aldığı bir dünya görüşü dönüşümüdür.

Eğer kuantum Hall etkisi belirme çağının perdesini açtıysa, kesirli kuantum Hall keşfi de açılış bölümü oldu.⁸ Kesirli etkiyi ortaya çıkaran deneyin tertibatı ilk von Klitzing etkisi için olanla tıpatıp aynıydı, ama anlam farklıydı. Kuantum Hall etkisinin aşırı tekrarlanabilirliği beklenmediği, ama yüzeysel davranışı öyle değildi. Gerçekten de, von Klitzing'in bu konuya ilgisini uyandıran şimdi Tokyo Teknoloji Üniversitesinde fizik profesörü olan Tsuneya Ando'nun yazdığı kuramsal bir makale oldu. Bu makalede daha sonra keşfedilen deneysel izlere çok benzer sayılar zikredilmişti.⁹ Buna karşılık kesirli etki hiçbir kuram tarafından kestirilmemişti ve daha önce doğada bilinen hiçbir şeye benzemiyordu. Dan Tsui ve Horst Störmer bir gece hâkim kuramların gerçekleşmesi gerektiğini söylediği elektron kristalleşmesi için kanıt ararken kaza eseri kesirli etkiyi keşfettiler. Buldukları şey von Klitzing etkisinin minyatür bir versiyonuydu ve aşırı yüksek olması gereken bir manyetik alan kuvvetinde ve görünürdeki minimum izin verilen değerin tam üçte birinde (ki bu olanaksız olmalıydı) ortaya çıkıyordu. Von Klitzing, her zaman, kesirli etkiyi bulmadığı için kendini tekmelemek istediğini söyler, ama kendine haksızlık ediyor, zira mesele sadece örnek kalitesiydi. (Kusurlar kuantumlanma hassasiyetine zarar veremez, ama ne yazık ki etkiyi olduğu gibi ortadan kaldırabilir.) Büyük keşifler çoğu zaman küçük teknolojik avantajlara dayanır. Dan, Horst ve ben kesirli kuantum Hall etkisi üzerindeki çalışmalarımızla –onlar etkiyi buldukları, ben de ilk matematiksel tarifini oluşturduğum için– 1998 Nobel Ödülünü paylaştık.¹⁰ O zamanlar bu keşfi devrimsel olarak düşünmüyordum, çünkü disiplinim tarif

⁸ Kesirli kuantum Hall etkisinin keşfi D. C. Tsui, H. L. Stormer ve A. C. Gos-sard, *Phys. Rev. Lett.* 48 1559'da (1982) duyuruldu.

⁹ Von Klitzing etkisinin niteliksel davranışı T. Ando, *J. Phys. Soc. Japan* 37, 622'de (1974) kuramsal olarak tahmin edilmişti.

¹⁰ Kesirli kuantum Hall etkisiyle ilgili ilk kuramsal makalem R. B. Laughlin, *Phys. Rev. Lett.* 50, 1395'ytir (1983).

etmek için yeni matematik denklemlerine ihtiyaç duyan hayrete düşürücü kuantum mekaniksel olaylarla doludur, ama aradan geçen yıllarda fikrimi değiştirdim. Bu etkinin aşırı kusursuzluğu, orijinal kuantum Hall etkisi ile aynı şekilde onu seleflerinden farklı bir kategoriye sokuyor.

Kesirli kuantum Hall etkisi görünürde bölünmez olan kuantumların –bu durumda elektron yükü e 'nin– hallerin kendi kendini düzenlemesi yoluyla parçalara ayrılabilmesini açığa çıkarır. Bir başka deyişle temel şeyler temel olmak zorunda değildir. Bu parçalara ayrılmanın prensipte meydana gelebileceği onlarca yıldır biliniyordu ve hatta polisitenler adı verilen organik iletkenlerdeki elektrik iletiminden kesirli yük taşıyan parçacıklı cisimlerin sorumlu olduğunu ileri süreren deneysel bir literatür bile vardı.¹¹ Fakat keşif yapıldığı zaman ileri sürülen bütün iddiaların kusurları vardı. Etkinin kesin olarak gösterilebildiği kuramsal modellerin hepsi tek boyutluydu, bu yüzden de laboratuvarı tam olarak gerçekleştirelmeleri imkânsızdı. Söz konusu organik iletkenler her zaman deneysel özelliklerinin tekrarlanabilir olmasını engelleyen kimyasal sorunlara sahipti. Her zaman deneylerin parçalara ayrılma olmadan açıklanabileceğini ileri sürerek parçalara ayrılma sorunlarından kaçınmak mümkündü; bu, beliren olgularda hep doğru olan, ama çoğu zaman ormana bakarken ağaçları gözden kaçıran bir görüştür. Ama kesirli kuantum Hall keşfi kesinliği sayesinde bu şaşırtmaya bir son verdi. Kesin şeyleri yaklaşık kuramlarla açıklamak mümkün değildir. Hassas bir şekilde kuantumlanmış kesirli kuantum Hall düzlüklerinin gözlemlenmesi temel uyarımların (parçacıkların) e 'nin kesin bir kesrini taşıdıkları yeni madde hallerinin varlığını *kanıtladı*. Dan ve Horst tarafından ilk keşfedilen halin uyarımları $e/3$ yükünü taşıyorlardı. Proton ve nötronların temel bileşenleri olduğu iddia edilen kuarkların da $e/3$ yükünü taşıdığı düşünüldüğünde bu oldukça enteresan bir sonuçtur. O zamandan bu yana böyle hallerden oluşanengin bir basamaklı ağaç keşfedildi. Bu ağaçtaki halle-

¹¹ Bkz. W. P. Su, J. R. Schrieffer ve A. J. Heeger, *Phys. Rev. B.* 42, 1698 (1979) ve içindeki referanslar.

rin hepsi farklı bir küçük paydalı kesirle nitelenir.¹²

Bir insan belli bir üne ulaştıktan sonra ona verecek halihazırda sahip olmadığı bir şey düşünmek zorlaşmaya başlar. Neckar'daki tekne gezisinden önce yapılan von Klitzing doğum günü toplantısında teknik bir konuşma yapmak gibi hiç kiskanılmayacak bir görev üstlendim. Yıllardır yarı iletkenler üzerine çalışmamış olduğum ve bu alanla haşır neşir olan daha genç insanlara göre bu konuyla ilgili söyleyecek çok daha az şeyim olduğu için kendimi komik duruma düşürme tehlikesiyle karşı karşıyaydım. Sonunda beliren fiziksel kanunlardan (von Klitzing keşfinin asıl önem taşıyan yanından) bahsetmeye ve bu vesileyle Klaus'a bir fide hediye etmeye karar verdim. Hatta biri evinde, biri de Enstitü kampüsünde dursun diye iki fide getirdim, çünkü insan teknik bir hayatla geçen yıllar boyunca yedek tutmayı öğreniyor. Sunumumda bu fidelerin en büyük ağaçlar olan sekoyalar olduklarını ve büyüdüğüm bölgeye özgü olduklarını söyledim.



Görünüşe göre yerel iklimde iyi yetişiyorlar.

¹² Ne yazık ki, referansların sayısı çok fazladır. İyi bir temsili örnek J. P. Eisenstein ve H. L. Stornier, *Science* 248, 1461'dir (1990).

Çocukken onların arasında kamp yapardım, ama ne kadar sıra dışı olduklarını ancak evden ayrıldıktan sonra anladım. Bu ağaçları basit sözcüklerle tarif etmek zordur, zira onlar bitkiden çok beyanlardır. Constance Gölündeki Mainau Adasını son ziyaret ettiğimde oldukça olgunlaşmış üç sekoyanın orada büyüdüğünü keşfettim ve çok şaşırdım.¹³ Görünüşe göre yerel iklimde iyi yetişiyorlar. Bu izlenimimi bu fideleri satın aldığım Santa Cruz Dağlarındaki yerel bitki fidanlığındaki çalışanlar da onayladı ve birçok kişinin sekoya fidelerini uçakla götürdüğünü iddia etti. İlginçtir ki, bunların çoğunluğu Almanya ve İsrail'e götürülüyormuş. Dolayısıyla dinleyicilere bu ağaçların öneminin türleri değil, onları getirmiş olmam olduğunu açıkladım. Klaus'un mümkün olduğu zaman hep ekonomi sınıfında uçtuğunu biliyorum, bu yüzden Kuzey Kutbunun üzerinde ayaklarının altında bir çantayla sıkışık bir şekilde on saat oturmanın ne demek olduğunu çok iyi anlıyordu. Şöyle dedim: Hepimiz öldüğümüz zaman bu ağaçlar aşağı yukarı geleneksel bir köknar büyüklüğünde olacak. Çocuklarımız yaşlandığında tuhaf derecede büyük ve biraz uygunsuz görünmeye başlayacaklar. Yetmiş nesil –yani bizi Julius Caesar'dan ayıran süre– geçtiğinde çevrelerindeki her şeyi gölgede bırakacaklar. Düzgün bakımla sonsuza kadar yaşamamaları için hiçbir sebep yok.

Von Klitzing'in keşfinin ima ettiği önemli mesele fiziksel kanunların varlığı değil, fiziksel kanunların ne olduğu, nereden geldiği ve içerimlerinin ne olduğudur. İndirgemeci bakış açısından fiziksel kanunlar evrenin motive edici itkisidir. Hiçbir yerden gelmez ve her şeye işaret ederler. Belirlemeci perspektiften ise fiziksel kanunlar toplu davranışın bir kuralı, altta yatan daha ilkel davranış kurallarının bir sonucudur (fakat öyle olmalarına gerek yoktur) ve kişiye sınırlı bir durumlar aralığında tahmin etme gücü verirler. Bu ara-

¹³ Mainau Constance Gölündeki büyük bir adadır ve sahipleri, Nobel Ödüllülerinin katıldığı ünlü Lindau toplantılarının ev sahipleri, Kont ve Kontes Bernadotte'dir. Adanın ünlü bahçeleri halka açıktır. *Bkz.* <http://www.mainau.de>.

lığın dışında konu dışı hale gelir ve bir ilişki hiyerarşisinde ondan ya altta ya da üstte yer alan diğer kurallara yerini bırakır. Bu bakış açılarından ikisi de gerçekler yoluyla diğeri üzerinde üstünlük kuramaz, çünkü ikisi de gerçeklere dayalıdır ve doğruluğun bilimdeki geleneksel anlamı söz konusu olduğunda doğrudur. Mesele daha inceliklidir; bir kurumsal muhakeme konusudur. George Orwell'den alıntı yapmak gerekirse, bütün gerçekler eşittir, ama bazıları diğerlerinden daha eşittir.

(Sekiz)

AKŞAM YEMEĞİNDE ÇÖZDÜM

Doğanın inceliği, duyuların ve kavrayışın inceliğinden kat be kat fazladır.

Sir Francis Bacon

Süperiletkenlik kuramı için Fizik dalında Nobel Ödülünü paylaşan Bob Schrieffer şu hikâyeyi anlatır: Aralık 1956'da doktora tezi danışmanı ve akıl hocası John Bardeen, artık ünlenmiş olan süperiletkenlik kuramının kilit fikirleri yerine oturmaya başladığı sıralarda transistörün mucitlerinden biri olarak ilk Nobel Ödülünü kazanmış ve almak için Stockholm'e doğru yola çıkmış. Bardeen böyle heyecan dolu bir zamanda uzağa çağrıldığı için delirecek gibi olmuş, ama gitmek dışında seçeneği yokmuş. Ocakta geri döndüğünde bu kuramın ayrıntılarını çıkarmak, özellikle de onu deney yoluyla test etmenin yollarını bulmak için, Bob ile beraber geceli gündüzlü çalışmaya başlamışlar. Çalışmalarının en can alıcı zamanında Bayan Bardeen bir akşam yemeği partisi planlamış. Herhalde John'un hoşsohbet olacağını ve onu eğlendireceğini düşünerek İsveçli bir konuk çağırmış. John en iyi zamanlarında bile sessizmiş ve en basit sorulara cevap verirken bile –muhtemelen “Nasılsın”ın olası cevaplarını ve bunların bütün içerimlerini derin derin düşündüğü için– yavaş konuşmasıyla ünlüymüş. Bu kafası yeni bir büyük bir kuram icat etmekle meşgul *olmadığı* zamanlarda geçerliy-miş. Parti başladığında unutulmayacak bir gece yaşanmış. John yemekte çok az konuşmuş. Sorulara çok kısa cevaplar vermiş, kendisi hiç soru sormamış, ne eşiyile ne de konukla ilgilenmiş ve genel olarak iflah olmaz bir zombi gibi dav-

ranmış. Bayan Bardeen bir şekilde gecenin sonunu getirip konuğu uğurladıktan ve bulaşıkları yıkamaya başladıktan sonra John yüzünde garip bir gülümsemeyle yanına gelmiş ve dalgın dalgın, "Isı kapasitesi sorununu çözdüm," demiş. Eşi ona neden bahsettiğini sorduğunda, "Akşam yemeğinde çözdüm," demiş.

Ben ve benim mesleğimdeki insanlar bu hikâyeyi duyduğumuzda hep içtenlikle gülümseriz, çünkü öğrenciyken o ünlü ısı kapasitesi formülünü öğrenmemizi hatırlarız ve John Bardeen'in en azından bazı çevrelerde gelmiş geçmiş en büyük kuramsal fizikçi sayıldığını biliriz.¹ Bardeen'in popüler stereotiplere uymaması bunu daha da harika kılar. John ne Albert Einstein gibi bir kült figür statüsüne, ne Robert Oppenheimer gibi nükleer silahlardan gelen saygınlığa, ne de Wolfgang Pauli gibi kötü şöhretli bir entelektüel küstahlığa sahipti. O sadece Orta Batıdan gelen candan bir adam olarak tarihte aynı dalda iki kere –ilk sefer transistörün icadı, ikinci sefer süperiletkenlik kuramı için– Nobel Ödülünü kazanan ilk kişi olmuştu.² Kariyerlerine 1960'larda başlayan iş arkadaşlarım bana John'un fiilen modern katı hal kuramı disiplini icat ettiğini anlattılar.³ John bu disiplinin tonunu Labs'ta transistör üzerinde çalışırken deneysel verileri titizlikle inceleyerek, gerçeklerle tekrar tekrar yüzleşerek ve basit, saydam kuramlarla onları anlamlandırma-ya çalışarak belirlemiş. Bütün modern mikro devrelerin temelini oluşturan alan etkili transistörünü yapmaya yönelik ilk girişimlerinde başarısız olunca enerjisini bunun sebebini anlamaya yoğunlaştırmış. Doğru bir şekilde sorunun katı yüzeylerde kırılan kimyasal bağlarla ilgili bir etki olan yüzey durumları olduğunu tespit etmiş ve Walter Brattain'i

¹ L. Hoddeson ve V. Daitch, *True Genius: The Life and Science of John Bardeen* (Joseph Henry Press, Princeton, NJ, 2002).

² Frederick Sanger de aynı dalda iki kere Nobel Ödülünü kazandı; önce 1958'de protein yapısı çalışmaları için, 1980'de ikinci kere rekombinant DNA için. Linus Pauling 1954'te kimyasal bağın doğası üzerine çalışmaları karşılığında kimya dalında, 1963'te nükleer silah karşıtı faaliyetleri karşılığında barış dalında Nobel Ödülü kazandı.

³ Özel kaynaklarım J. C. Phillips, C. N. Herring ve T. Geballe

farklı bir yaklaşım denemeye teşvik etmiş. Sonuçta ortaya 1947'de duyurulan, mikroçip çağına doğru ilk basit adım olan nokta temaslı transistör çıkacaktı.⁴ Yıllar sonra Fairchild Semiconductor'da bir kimya hilesi yoluyla yüzey durumu sorununun üstesinden gelmesiyle bu çağın kapıları nihayet açılacaktı.⁵ Yine de ilk transistörün icadı disiplinimizin standartlarını belirledi ve hâlâ çoğumuzu bilimdeki en büyük başarıyı gerçekleri çok verimli bir biçimde temellerine indirgeyerek pratik bir icadı mümkün kılmak saymaya sevk etmektedir. Bu tutum doğrudan John Bardeen'dan gelir.

Bardeen ikinci Nobel Ödülünü dolaylı olarak Bell'deki yöneticisi ve Brattain ile beraber transistör Nobel Ödülünün ödülü olan William Shockley'e borçlu olabilir. Shockley kendini beğenmişliğiyle ün salmış belalı bir kişiydi. Örneğin bilim insanları ve diğer ünlüleri hedef alan sperm bankalarına bağışta bulunup bulunmadığına yönelik bir soruya sanki bulunmamak insanlığa kötülük yapmak olacaktı gibi, "Elbette verdim," diye cevap verdiği söylenir. Daha tipik bir cevap soruyu bir şaka olarak kenara itmekti. Shockley bilim insanlarını (mühendislerin aksine) amatörler olarak görmesi ve zihinsel zayıflıkları nedeniyle onlardan nefret etmesiyle bilinirmiş. Bu sıcakkanlı ve iyiliksever tutumu daha sonra çiçek açarak o ünlü ırk aşağılığı ve ırk ıslahı kuramları şeklinde meyve verdi.⁶ Doğal olarak transistörü aslında bir mühendis olan kendisinin değil fizikçilerin icat etmesine çok sinirlenmiş. İcadı kimin yaptığı konusunda zihinleri bulan-

⁴ Transistörün icadının kısa bir anlatımı için bkz. W. F. Brinkman, "The Transistor: 50 Glorious Years and Where We're Going," <http://www.luc-cent.com/minds/transistor/pdf/first50.pdf>.

⁵ Bkz. M. Riordan ve L.Hoddeson, *Crystal Fire: The Birth of the Information Age* (Norton, New York, 1997); F. M. Wanlass and C. T. Sah, "Nanowatt Logic Using Field-Effect Metal-Oxide-Semiconductor Transistors," Tech. Dig. IEEE Int. Solid State Circuits Conf., 32-33, 1963.

⁶ William Shockley'in kötü şöhretli ve renkli bir kariyeri oldu. California'ya göç etti ve burada silikon vadisinin doğumuna önyak oldu. Ayrıca kalıtımın zekâ üzerindeki etkisine kafayı taktı. Bkz. W. Shockley ve R. Pearson, *Shockley on Eugenics and Race: The Application of Science to the Solution of Human Problems* (Scott-Townsend Publishers, Washington, D.C., 1992).

dırmak ve mucitlerin hayatlarını zorlaştırmak için adımlar atmış. İlk transistörü yapan Brattain Shockley ile beraber çalışmayı reddetmiş ve Bardeen de onun yüzünden Bell'den ayrılmış. John Illinois Üniversitesine geçti ve kariyerinin kalan kısmında orada kaldı. Cooper ve Schrieffer'le üçü işte orada süperiletkenlik sorununu çözmüşler.

John Bardeen'in bilimsel heybeti o kadar fazladır ki çoğumuz onu çok insansı hassas noktaları olan radikal bir düşünür olarak hayal etmekte zorlanırız. Kısa süre önce Bardeen'in eski süperiletkenlik günlerindeki yakın çalışma arkadaşlarından biri olan Doug Scalapino'dan çok hoş bir Bardeen hikâyesi dinledim. Transistörün icadından ve süperiletkenlik kuramının kabul edilmesinden uzun zaman sonra ikisi Santa Barbara'da golf oynuyorlarmış. Bilim politikası konusu açılmış ve her zamanki gibi en yeni çalışmalarını pazarlamakta sıkıntı çeken John düşünmeden, "Biliyorsun Doug, düzen peşimi bırakmıyor," demiş. Doug nazik bir şekilde, "John, düzen *sensin*," diye cevap vermiş.⁷

Transistörün ardından süperiletkenlik hakkında endişelenmek doğrudur. Süperiletkenlerin potansiyel uygulamaları yarı iletkenlerinkinden çok farklıdır, ama her iki durumda da merkezdeki mesele neden bazı şeyler elektriği iletirken diğerlerinin iletmediğidir. Bir iletkende bazı kısımlar etrafta hareket etmekte serbesttir, diğerleri ise sıkı bir şekilde yerine kısılmıştır; bir cep telefonunda içinde bir sürü gevşek vida olması ve telefon ters çevrildiğinde bunların serbestçe oraya buraya fırlaması gibi. Yarı iletkenler söz konusu olduğunda gevşek vidalar ısınmadan kaynaklanıyor olarak düşünülebilir, çünkü yarı iletken soğutulduğunda tamamen yok olurlar. Tersine, bir metalde ta mutlak sıfıra kadar varlıklarını korurlar ve doğaları gereği kuantum mekaniğine tabidirler. Dahası, onlardan çok fazla vardır. Kişisel bilgisayarınızdaki ya da kol saatinizdekiler gibi tipik bir yarı iletkende on bin atom başına en fazla bir taşıyıcı (bir elektron ya da deşik) vardır. Bir metalde atom başına bir adet vardır. Bu nesnelerin nereden geldiği, onları kimyasal bağlar kur-

⁷ Bu hikâyeyi 2001'de bir yemekte Scalapino'dan dinledim.

ma ihtiyacından kurtaranın ne olduğu ve neden en düşük sıcaklıklarda bile hareketli kaldıkları derinlikli sorulardır. Bu soruların hepsinin merkezinde yer alan konunun süperiletkenlik olduğu anlaşıldı.

Süperiletkenlik sorununun çözülmesi zordu; kısmen bunun sebebi sağlam bir bilimsel kavram olan bağımsız elektronlara saldırmayı gerektirmesiydi. Kuantum mekaniğinin ilk zamanlarında gerçek metallerin birçok özelliğinin elektronlar arasındaki elektrik kuvvetlerinin mevcut olmadığını varsayarak açıklanabileceği keşfedildi. Bunun neden işe yaradığı net değildi, ama bu son derece idealleştirilmiş elektronların özellikleri boş bir anda bir peçetede hesaplanabilecek kadar basitti ve bu hesaplar deneylere iyi uyuyordu. Bu durum mühendislikte çok yararlı oldu ve metallerin yeni durumlarda ne yapacaklarının makul bir doğrulukla kestirilebilmesine izin verdi. Ne yazık ki aynı zamanda maddenin bu şekilde davranması *gerektiğini* düşündürmek gibi bir etkisi de oldu; ki bu kökünden yanlış bir fikirdir. Elektronlar arasındaki kuvvetler aslında devasadır ve bu deneylerde rol oynamamaları çok hayret vericidir. Metal davranışı beliren bir örgütlenme olgusudur. Metalik hal elektron denizi nedeniyle mantıklı değildir, elektron denizi metalik hal oluştuğu için mantıklıdır.

Bardeen, Cooper ve Schrieffer elektron denizinin neden olduğu politik sorundan süperiletkenlik durumunu ona tabi kılmak gibi mükemmel bir taktikle sıyrıldılar. Bu ABD Anayasa Kongresinin Başkanı savaş ilan etmek için resmen Kongreye tabi kılmasına çok benzer. Bu manevra delegele-
rin imparatorluk tarzı bir başkanlıkla ilgili korkularını yatıştırmış ve Anayasanın onaylanmasına olanak sağlamıştır, ama pratikte savaş ilan etme yetkisi Başkanın ellerine bırakılmıştır.⁸ Süperiletkenlik durumu da aslında geleneksel

⁸ Yürütmenin savaş açma yetkisi Irak'taki çatışma nedeniyle şu anda oldukça hassas bir meseledir, ama daha önce de bu konuda çok söz söylen-
di. Bkz. A. M. Schlesinger, Jr., *The Imperial Presidency* (Houghton Mifflin, New York, 1989); ve A. Hamilton, J. Madison ve J. Jay, *The Federalist Papers* (Mento, New York, 1961). Ayrıca bkz. <http://www.ciaonet.org/pbei/cato/heq01.pdf>.

metalik durumun altında değil, üstünde yer alır. Ama kuram bu rolleri tersine çevirerek denizin varlığını kabul eder ve süperiletkenliği çevresinde elektronların aktığı atom çekirdeklerinin hareketlerinden kaynaklanan düşük sıcaklıklı bir incelik olarak açıklar. Atomlar hareket etmese süperiletkenlik de yok olurdu. Ama bir ayrıntı vardır: Metallardaki atomlar *her zaman* hareket eder. Elektron denizi *mutlak biçimde* dengesizdir, yani herhangi bir atom hareketi varsa yeterince düşük sıcaklıklarda süperiletken hale gelecektir. Dolayısıyla süperiletkenlik durumunun görünüşte tabi olduğu şey aslında matematiksel bir kurgudur.

Süperiletkenlik durumunun kuram tarafından tahmin edilen kilit özelliği enerji aralığı adı verilen bir şeydir. Enerji aralığı kesin matematik denklemleriyle açıklanabilir, ama Cecil B. DeMille'in *The Ten Commandments* (On Emir) filmindeki Musa'nın Kızıl Denizi yardığı sahneyi düşünmek daha yararlıdır: Su, tüm normal akış kurallarına karşı gelip geri çekilerek iki yanında kayalıklar olan bir kanal oluşturur, alttaki zemin de açığa çıkıp kurur.⁹ Böylece ortaya çıkan kanal Yahudilerin Mısır'dan Sina çölüne kaçmalarına imkân tanır ve Charlton Heston'un ve Yahudilerin mucizevi bir şekilde Kızıl Denizin bir kıyısından diğerine geçmeleri, onları kovalayan askerlerin ise engellenmeleriyle ölçülür. Süperiletkenlerde aralık benzer biçimde elektriğin metal bir örnekten mucizevi bir biçimde geçmesi, elektronların geleneksel hareketinin ise engellenmesiyle ölçülür. Aralığı ölçen deney birbirinden ince bir yalıtıcı katmanla ayrılmış iki süperiletken parçasından (tipik olarak bir kurşun oksit katmanı ile ayrılmış kurşun filmleri) oluşur. Çok küçük bir elektrik akımı mucizevi bir şekilde hiçbir gerilim uygulanmadığı sürece bu düzeneğin içinden akar –sanki elektron hareketinin önündeki bütün engeller yok olmuş gibi– ama büyük geleneksel akımlar ancak gerilim özel bir eşik değerini aştığında akar. Bu eşik enerji aralığıdır. Eğer düzenek süperiletkenliği yok edecek kadar ısıtılırsa, bu garip davranışların ikisi de or-

⁹ K. Orrison, *Written in Stone: Making Cecil B. DeMille's Epic, The Ten Commandments* (Vestal Press Ltd., Vestal, New York, 1999).

tadan kalker: Elektron denizi yeniden oluşur, küçük süper akım kesilir ve geleneksel akım gerilim uygulandığı zaman anında akar. Dolayısıyla aralık içermeyen elektron denizi ilk metal çalışmalarında yetersiz soğutma teknolojisi nedeniyle yanlışlıkla temel olarak tanımlanmış bir yüksek sıcaklık olgusudur. *The Ten Commandments*'ta Kızıl Deniz de benzer biçimde Firavun tarafından yanlışlıkla kaçmanın önünde temel bir engel olarak tanımlanmıştı. Kişisel olarak bilim bütçesinde kısıntıya gittiği için başına geleni hak ettiğini düşünüyorum.

Enerji aralığının tarif edilmesinde kilit atılım Bardeen'e değil Schrieffer'e aitti. 1957 kışında daha yirmi beş yaşında olan Bob, New York'ta bilimsel bir toplantıya katıldığını ve fikrin metroda aklına geldiğini anlatır.¹⁰ Bu hikâyeye uydurulmuş olamayacak kadar şahanedir, zira o yıllarda New York metrosuna binmiş herkes (aradan geçen zamanda iyileşti) oradayken kişinin genellikle karanlık düşüncelere kapılmaya eğilimli olduğunu bilir. Bob'un beyninin arka tarafı, günışığında sorunla uğraşılıyor olmalıydı. Aklına gelen şey süperiletkenlik durumunun on beş saniyede açıklanabilecek kadar basit bir matematiksel ifadesiydi. Şüphesiz ki bu, gerçek süperiletkenin tanımı değil, temel öğeleri –ve sonradan anlaşıldığı üzere kilit deneysel bulguları açıklamak için yeterince ayrıntıyı– içeren bir süperiletkenin son derece idealleştirilmiş bir soyutlamasıydı. Schrieffer'in icadının modern bir versiyonu bilgisayar oyunu *Sim City*'dir. Bu, gerçek bir şehrin istediğiniz gibi üzerinde oynayabildiğiniz ve değiştirebildiğiniz, ayrıca gerçek şehirle yeterince ortak noktası olduğu için size şehirlerin işleyişinin bazı prensiplerini öğreten oyuncak bir modelidir. Fakat süperiletkenlik kuramının *Sim City*'den çok daha fazla ağırlığı vardır, çünkü yanlışlanabilir ve olağanüstü zariftir. Karışıklık çok çetin görünüyordu. Lazer gibi kaba bir aletle ölçüldüğünde süperiletken bir bağımsız elektronlar denizinden ayırt edilemi-

¹⁰ Bu hikâyenin hoş bir anlatımı Bob Schrieffer'in internet sitesinde bulunabilir: <http://www.research.fsu.edu/researchr/winter2002/schrieffer.html>.

yor, ama bir çift tel ya da yakındaki bir mıknatıs gibi ince bir aletle ölçüldüğünde tam tersi, yani süperakışkan helyum gibi hareket ediyordu. Bu bireyler ölçeğindeki büyük bir siyasi görüşler çeşitliliğine sahip mutlak demokrasinin uluslar ölçeğinde bireyselliğin tüm izlerinin yok olduğu ve yerini tek bir uyumlu mesaja bıraktığı mutlak bir siyasi partiye dönüşmesi gibidir. Ama sorunun Bob'un trende aklına gelen basit bir teknik çözümünün olduğu anlaşıldı. Bob, bütün öğleden sonra boyunca fikri açıkça ifade etmek için çabaladığını ve ancak akşam saatlerinde yazıya dökmeyi başardığını söyler; bu, açıklayıcı bir itiraftır, çünkü iyi kuramsal fizik aslında mühendislikten çok sanat gibidir ve tıpkı onun gibi istendiğinde çağırılması zordur. Fiziksel fikir, matematikten önce gelir ve onu basit bir denklem olarak ifade etmek bir şarkı ya da şiiri yakalamak gibidir.

Süperiletkenliği öğrenen öğrenciler sık sık Schrieffer'in denklemi karşısında allak bullak olurlar, zira bu denklem hiçbir özel matematik probleminin çözümü değildir; sonradan icat edilmiş zorlama problemler hariç. Denklem teknolojik değil kavramsal ve matematiksel tumdengelim yoluyla çok doğada meydana gelen şeyi mümkün olduğu kadar basit bir şekilde tarif etme girişimidir. Zavallı öğrencilerin aniden mantıkçılardan *Jeopardy* yarışma programında oyunun sonundaki, bütün kolay seçimlerin gittiği ve geriye sadece 500 dolara Hegel Sürprizleri seçeneğinin kaldığı sıradaki bir yarışmacıya dönüşmeleri gerekir. Alex Trebek elindeki karttan pürüzsüz bir sesle, "Bardeen-Cooper-Schrieffer süperiletkenlik kuramı," diye okur ve yarışmacılardan zil çalmadan karşılık gelen soruyu bulmalarını ister.¹¹ Ne yazık ki bu sorunu aşmanın yolu yoktur. Öğrencilerin Schrieffer'in fikrini düşünerek başlattıkları bir dizi olayın sonunda gerçek fiziğin neredeyse her zaman çıkarımsal olduğunu, şimdiye kadar *hiçbir* toplu örgütlenme olgusunun –kristalleşme ve manyetizma gibi temel şeylerin bile– çıkarsamayla bulunmadığını ve daha küçük yaşta öğrendikleri tersine görüşün,

¹¹ Bu fikri *Marxist Jeopardy* adındaki harika bir internet sitesinden aldım. Bkz. <http://www.answers.org/free/marx>.

ders çalışmaları için bir hileden ibaret olduğunu keşfeder ve perişan olurlar. Süperiletkenliği kavramak özellikle zor değildir. Bu yalnızca kişinin matematiksel tümdengelim numarasının artık sürdürülemeyecek kadar bariz hale geldiğini fark ettiği ilk durumdur. Schrieffer'in fikri tam da bu sebeple müthiş bir entelektüel zaferdi. O, tıpkı biz diğerleri gibi beyni yıkanmış olduğu halde her nasılsa eğitiminin üstesinden gelmeyi ve olayların temeline inmeyi başardı. Gerçekten de, süperiletkenliği daha önce kimsenin çözmemiş olmasının nedeni onun teknolojik bir sorun olduğu yönündeki hatalı inançtı!

Schrieffer'in fikrinin özü parçacık numarasını gevşetmektir. Bu kavramın şehirlerde basit bir analogisi vardır. Manhattan'daki bütün köprü ve tünelleri ikiye ayırdığınızı, öyle ki kimsenin girip çıkamadığını farz edin. Hayat az çok her zamanki gibi devam eder, insanlar etrafta hareket eder ve birbirlerini iterlerdi (New York'a bayılıyorum), çünkü ada bir parçasının bir başka parçası için rezervuar görevi görmesine yetecek kadar büyüktür. Bu örneğin kalabalık bir ofis partisiyle taban tabana zıttır, çünkü orada dışarı açılan kapının açık veya kapalı olmasında dağlar kadar fark olabilir. Şimdi Manhattan'ın bir metal parçası, içindeki insanları da elektronlar olduğunu hayal ederseniz, Schrieffer'in çözümü basitçe köprü ve tünelleri açarak elektronların sayısının değişkenlik göstermesine izin vermektir. Bir başka deyişle, herhangi tek bir alandaki elektron sayısı bütünün özelliklerini değiştirmeden değişkenlik gösterebildiği için, *bütün* alanlardaki elektronların sayısının da –gerçekte sabit olsa da– değişkenlik göstermesine izin verilebilir. Bu varyasyonlara izin vermek geleneksel sıcak gaz ve sıvıların tarifini basitleştirmek için kullanılan standart bir matematik hilesidir, ama süperiletkenlerde kullanılması oldukça radikaldir, çünkü süperiletken çok soğuktur. Gerçek hayattaki sıcak Manhattan'da insanların sayısı andan ana değişir, ama özel bir anda sabittir. Buna karşılık Schrieffer'in buz gibi Manhattan'ında insanların sayısı tanımsız, şehrin kuantum dalga fonksiyonu da farklı sayılarda insanlar içeren cansız,

zamanla değişmeyen bir durumlar karışımı olacaktır. Bu, müthiş bir kavramdır. Klasik olarak birbiriyle uyumsuz olan şeylerin, bu durumda farklı elektron sayılarının eş zamanlı varlığı Schrieffer'in süperiletkeninin Schrödinger'in kedisiyle ortak noktalarından biridir.

Örnekteki elektronların sayısının değişkenlik göstermesine izin veren matematiksel buluşun, önemli fiziksel içeriğinin olduğu ortaya çıktı, fakat Schrieffer o sırada bunu fark etmemiş. O sadece iş arkadaşı Leon Cooper'ın elektron denizinin dengesizliği hakkındaki teknik bir fikrini genellemeye çalışıyormuş. Şimdi onun elektronların örneğin bir parçasından süperiletkenlik durumunun diğer özelliğine doğru kuantum mekaniksel olarak şiddetli bir şekilde çalkalanmasının özlü bir tarifini tesadüfen bulduğunu anlıyoruz. Bu etkiyi parçacık numarasını ihlal etmeden tarif etmek mümkündür, ama sonuçta ortaya çıkan netlik kaybı elde edilen zorluk tasarrufuna çok ağır basar, kaldı ki böyle yapmak meseleyi anlayamamak demektir. Süperiletkenlik kristalleşme gibi elektronların sayısı fazla küçük olduğunda *tanımsız* olan bir örgütlenme olgusudur. Schrieffer'in yaklaştırmasının küçük bir örnekte başarısız olmasının basit bir fiziksel anlamı vardır, o da süperiletkenliğin böyle örneklerde meydana gelemeyeceğidir.

Schrieffer'in fikrinin işe yaraması için gereken sayı belirsizliğinin başlarda hasıraltı edilen ama sonradan can alıcı önemde olduğu anlaşılan tuhaf bir yan etkisi vardır: Süperiletkenlik durumunun tarifi benzersiz değildir. Çok büyük sayıda (bir santimetreküp kurşunda bir kentilyon civarı) eşdeğer çözüm vardır ve bunların her biri diğerleri kadar geçerlidir.¹² Bu çokluk başlangıçta gayet sıkıntı verici gelir, çünkü kuantum mekaniğinin mikroskobik kuralları sistemin durumunun benzersiz olmasını gerektirir. Bu süperiletkenlik kuramının kabul edilmesinin bu kadar uzun sürmesinin ana sebeplerinden biriydi. Ama etki uygun bir ışıktaki incele-nirse o kadar anlaşılması zor değildir. Roma İmparatorluğunun yalnızca tek bir tarihi vardır, ama hangi villa avlusu

¹² Bir kentilyon $10^{18} = 1.000.000.000.000.000.000$ 'dur.

için hangi günde kimin hangi dekoratif karoyu aldığı gibi küçük ayrıntıların birçoğu önemli bir büyük ölçekli olayı etkilemeden değiştirilebilir. Roma İmparatorluğunun mantıklı olan ve temelleri doğru aktaran makul tarihlerinin sayısı aslında afallatıcıdır. Büyük sistemlerin tarihlerinin küçük sistemlerin tarihlerinden farklı olmasının sebebi sadece kuru ayrıntıların değil, toplu olguların tarifleri olmalıdır. Süperiletkenlik kuramında taklit edilmenin etkisi işte böyledir. Elektronların eğilimi kol kola girmek ve tıpkı kristalleşmiş atomlar gibi tek bir devasa kütle halinde hareket etmektir. Aslında bu kristalleşmede olan şeyden farklı değildir, ama kilit noktalarda “aşikâr” kuantum dışı tarife geçerek kılıfına uydurulması daha zordur. Elektronların sayısı son derece büyük olduğu zaman, süperiletkenin gerçek temel durumunu altta yatan bütün grubun toplu hareketiyle ilişkili uyarılmış durumlarından ayırt etmek zor hale gelir. Dolayısıyla Schrieffer’in tarifinin benzersiz olmaması son derece temel bir şeyin belirtisidir: akışkan kütlenin geleneksel anlamının, yani kuantum mekaniğinin Newton’ın kanunlarına dönüştüren toplu etkisinin belirmesi. Birçok fizikçinin hâlâ bu konuda kafa karışıklığı yaşaması, böylece doğa tarafından entelektüel olarak aldatılmak için genç olmanın şart olmadığını göstermesi ilginçtir.

Süperiletkenler bir dizi kesin davranış sergiler. Kesinliklerini Schrieffer’in ileri sürdüğü, temel durumların beliren çokluğu fikrine borçlu olan bu davranışların en meşhuru Meissner etkisi, yani bir mıknatısın kutbunun üzerine yerleştirilmiş küçük bir süperiletken parçasının kendiliğinden havaya yükselmesidir. Örnek soğutulup ısıtılarak süperiletkenliğe geçirilip çıkarıldıkça bu havaya yükselme geri dönüşlü olarak gelir ve gider, dolayısıyla derste göstermesi eğlencelidir. Günümüzün öğrencileri yüzlerce film özel efekti gördükleri için fiziksel mucizelere duyarsızlaşmış durumdalar, ama Meissner havaya yükselmesini gördükleri anda iş değişir. Aslında aynı isimli iki olgu içeren Josephson etkisi de oldukça nefes kesicidir. Bu etkilerden biri süperiletken bir kablonun sıkışarak elektriği gerilim uygulanmadan ilete-

bilmesidir. Bu *squid*' (superconducting quantum interference devices – süperiletken kuantum girişim cihazları) gibi tatlı bir isim taşıyan ve denizaltı savar silahlarda, manyetik rezonans görüntülemeye ve manyetoensefalografide kullanılan aşırı duyarlı manyetizma detektörlerinin fiziksel temelini oluşturur. Diğer etki daha önce de bahsettiğim sandviç bir gerilim uygulandığında radyo dalgalarının yayılması etkisidir. Bu dalgaların zamanlamasıyla uygulanan gerilim arasındaki orantılılık sabiti bir deneyden diğerine bir milyar parçada bire kadar sabittir. Von Klitzing etkisi gibi Josephson etkisi de kuramsal olarak tahmin edilmişti, ama aşırı tekrarlanabilirliği tahmin edilmemişti. Josephson sabiti de bir temel elektrik yükü kuantumu e 'nin, Planck sabiti h 'nin ve ışık hızı c 'nin bir kombinasyonudur (ama farklı bir kombinasyonudur), dolayısıyla von Klitzing sabiti ve ışık hızının bağımsız bir ölçümüyle birleştirildiğinde e ve h bulunabilir. Gerçekten de bu iki makroskobik etki bu görünürde mikroskobik olan niceliklerin günümüzdeki pratik *tanımıdır*. Meissner ve Josephson etkilerinin sabitliği süperiletkenlerde bir örgütlenme ilkesinin işlediğinin deneysel kanıtına karşılık gelir. Bu ilkeyi şimdi Schrieffer'in çokluğuyla özdeşleştiriyor ve ona süperakışkan simetri kırılması adını veriyoruz.

Bu etkilerin kesinliği epistemolojik bir konuyu gündeme getirir. Bunu en iyi bir hikâyeyle açıklayabilirim. Çocukken bir keresinde bir dürüstlük yarışmasını kaybetmiştim. Büyükannemin California'daki Porterville'in üstündeki kulübesi yakınlarında bulunan büyük, kaynaktan beslenen bir havuzda kuzenlerimden biriyle yüzüyordum. Bu oldukça zorlu bir bölgeydi ve büyükannemin kulübesine dönen yol dayanılmayacak kadar uzun ve kıvrımlıydı, çünkü kanyonun eğrilerini izlemesi gerekiyordu. Ama yayan olarak nehrin kenarındaki hoş bir kestirme patikayı kullanabiliyordunuz. Akşam yemeği vakti yaklaşıyordu ve bütün gün beraber dolaştığımız, artık beni çileden çıkarıcı bulmaya başlayan kuzenim kestirme yolun aslında kısa olup olmadığıyla ilgili metafiziksel bir tartışma başlattı. Büyük şehirden gelmiş,

* squid: mürekkep balığı –çn.

görmüş geçirmiş bir adamdı ve fikirlerine çok değer veriyordum, bu yüzden zokayı yuttum ve onu haksız çıkarmaya yemin ettim; ki kesinlikle öyleydi. Kendinden emin bir şekilde her zamanki gibi neden bahsettiğimi bilmediğimi ve bu konuyu iki yoldan ayrı ayrı kulübeye gidip kimin önce vardığını görerek çözmemiz gerektiğini söyledi. Ama nehir patikası sarptı ve kayalar ve ağaç kökleriyle kaplıydı, dolayısıyla parmak arası terliklerle kat edilmesi zordu. Bu yüzden ikimizin de eve elimizden geldiği kadar çabuk *yürümesini* ve hile yapmamasını içeren bir taviz üzerinde anlaştık. Sonra yola koyulduk. Ben erkek gibi ayak parmaklarımın incinmesi ve bacaklarımın çizilmesi pahasına bütün o eğimlerle, ağaç kökleriyle soğut dallarıyla mücadele ettim. Ama nihayet oflayıp pıslayarak kulübeye vardığımda kuzenimin bir mısırın çoğunu yediğini ve bifteğini bitirmek üzere olduğunu gördüm. Yarışmayı kazandığını ve ayrıca geç kaldığım için başımın büyük belada olduğunu söyledi. Kuzenimin koştuğunu anlamamın ne kadar uzun zaman aldığını söylemekten utanıyorum. Bilim insanları oldukça kolay kandırılan kişilerdir; korkarım yenilgiyi kabul ederek, suçu kendi muhakeme kabiliyetimde bularak ve durumu tekrar tekrar gözden geçirip nerede hata yaptığımı bulmaya çalışarak profesyonel kadrimi ortaya çıkardım. Amma avanakmışım.

Bilimsel yarışmalar da bizim yürüme yarışmalarımız gibi sık sık yanlış sebeplerle kazanılır. Süperiletkenlik kuramıyla ilgili kavga bilim tarihinin en uzun ve en acı kavgalarından biri oldu, bunun en önemli nedeni de merkezdeki mesele- nin kavramsal olmasıydı. Kuram sonunda açıklık getirdiği "spektroskopik" ayrıntı temelinde kabul edildi. Bu ayrıntı ısı kapasitesini (Bardeen'in akşam yemeğinde çözdüğü), ısı aktarımı katsayısını, enerji aralığını, bu aralığın süperiletkenlik geçiş sıcaklığıyla ilişkisini, bu sıcaklığın izotop kütlesiyle beraber değişmesini, geçiş sırasında ses hızında meydana gelen değişiklikleri ve benzerlerini içeriyordu. Acıdır ki, bilimin mekanizması kavramlarla değil sadece gerçeklerle ve teknolojilerle uğraşacak şekilde kurulmuştur. Dolayısıyla Bardeen-Cooper-Schrieffer kuramı bilimin bütününe bir

kavram değil hesaba dayalı bir teknoloji olarak dâhil edildi. Bu işin erbapları esas meselenin ikisi de kuramın geri kalanının doğru olmasını gerektirmeyen Meissner ve Josephson etkilerinin kesinliği olduğunu bilirler, ama ders kitapları hâlâ hikâyeyi kuramın açıklık getirdiği spektroskopik ayrıntılar üzerinden anlatırlar ve bu hep böyle kalacaktır. Dolayısıyla süperiletkenliğin elektron denizinin bir dengesizliği olduğunu söylerler. Bunun gerçekleşmesine neden olan elektronlar arasındaki çekim kuvvetinin atom hareketi vasıtasıyla sağlandığını söylerler. Süperiletkenlik durumunun geçiş sıcaklığıyla basit bir ilişkisi olan bir enerji aralığına sahip olduğunu söylerler. Vesaire vesaire.

Aslında bu şeylerin hiçbiri esas nitelikte değildir. Keşfedilen ilk süperiletkenlerin kuramın spektroskopik ayrıntılarına iyi uyması ve dolayısıyla da onu gerekçelendirmek için kullanılabilmesi tarihi bir kazadan ibaretti. Ama kuramın ruhunu asıl gerekçelendiren bütün o ayrıntılar değil Meissner ve Josephson etkileridir. Bu gerçeği derinlemesine anlayan bir dizi mükemmel Rus fizikçisi bugün hâlâ kuram konusunda adaletsiz bir şekilde saf dışı bırakıldıklarını düşünürler ve bunda tam olarak haksız da değildirler. Maalesef hayat adil değildir, özellikle ve dikkat çekici bir şekilde kavramlar konusunda. Öğrencilerim ne zaman bu durum nedeniyle bunalıma kapılsalar onlara Dr. Panglos'un frengiden ölmek üzereyken söylediği sözü hatırlatırım.¹³ Panglos, hastalığın Şeytan'ın suçu olup olmadığı sorusuna, hastalığın, Bütün Olası Dünyaların En İyisinde kaçınılmaz olduğunu, çünkü Avrupa'ya çikolata ve koşnili de getirmiş olan Kolomb tarafından getirildiği cevabını verir.

Süperiletkenlik kuramını bir teknoloji olarak tanımlamak için gereken zihinsel tavizlerin meselelerin görece önemi konusunda derin bir kültürel karışıklık üretmek gibi bir yan etkisi vardır. 1970'lerde iki çok saygın kuramsal fizikçi (isimlerini vermeyeceğim) disiplinlerinin çağdaş önyargılarını kaydetmek için süperiletkenliğin 30 Kelvin dereceden

¹³ F.-M. A. Voltaire, *Candide or Optimism: A Fresh Translation, Backgrounds, Criticism* (W.W. Norton, New York, 1991).

(mutlak sıfırın 30 derece üstü) yüksek sıcaklıklarda asla meydana gelemeyeceğini "kanıtlayan" bir makale yazdılar. Bu metallerin o sırada bilinen özellikleri ve süperiletkenlik kuramının onlara uyan ayrıntılarıyla tamamen tutarlıydı. Aynı zamanda önemliydi de, çünkü nesneleri sıvı azotun kaynama noktası olan 77 Kelvin'in altına indirmek oldukça pahalıdır ve dolayısıyla teknolojinin önündeki bir engeldir. Ardından, gerçekten yürek ısıtıcı olaylar oldu: Georg Bednorz ile Alex Müller daha en başında metalik bile olmaması gereken seramik bir malzemenin 30 Kelvin derecede süperiletken olduğunu keşfettiler,¹⁴ kısa süre sonra da Paul Chu benzer bir malzemenin 90 Kelvin derecede süperiletkenlik sergilediğini keşfetti. Bu ani ve rahatsız edici gelişmeler bir Road Runner çizgi filminde Wile E. Coyote'nin Acme roket tahrikli kızığının uçurumdan boşluğa uçtuğunu fark ettiği andakine benzer çılgınca bir yaratıcı çark etme faaliyetinin başlamasına neden oldu. Çeşit çeşit tuhaf bahaneler ileri sürüldü; örneğin bu olgunun süperiletkenlik değil temelde yeni türde bir toplu etki olduğunu ve bu yüzden de Bardeen-Cooper-Schrieffer motifine uygun olmak zorunda olmadığını söyleyenler oldu. Ama şüphesiz ki öyle değildi. Sonradan deneyler tekrarlanabilir hale gelip netlik kazandı ve şu anda California Üniversitesinin rektörü olan Bob Dynes'in icat ettiği zekice bir yüzey hazırlama tekniği sayesinde Josephson etkisinin yüksek sıcaklıktaki bir süperiletkenle sıradan bir süperiletken arasında oluşması sağlandı. Gizem çözüldü. Başarısız olan süperiletkenlik durumunun geleneksel olan temel doğası değil, görünürde onun temelini oluşturan mitolojik elektron deniziydi. Söz konusu malzemelerde elektron denizi yoktu.

Yüksek sıcaklık süperiletkenliğinin insan tarafı çarpışan ideolojilerde sık sık görüldüğü üzere karmaşıktır. Hâlâ bir iğnenin başına kaç meleşin sığabileceğiyle ilgili ortaçağ tartışmalarına benzeyen sert kavgalar yaşanıyor ve bu süperiletkenleri ilk kuramın geleneksel süperiletkenleri "açıkla-

¹⁴ Yüksek sıcaklıktaki süperiletkenliğin keşfinin ilk referansı J. G. Bednorz ve K. A. Müller, *Z. Phys. B* 64, 189'dur (1986).

dığı" gibi açıklayacak teknik matematik denklemleri icat etmeye yönelik cesurca girişimler yapılıyor. Ama acı gerçek şu ki özgün Bärdeen-Cooper-Schrieffer kuramının matematik denklemleri kendi başlarına değil, yalnızca yeni bir düzen türünün varlığı ve doğasını göstermenin bir yolu oldukları için önemliydi. Artık bu düzenin var olduğu gösterildiği ve yeni süperiletkenlerin onu sergilediği deneysel olarak gösterildiği için, böyle bir hesaplama teknolojisi icat etmek için cazip bir sebep yoktur; belki mühendislik amaçları hariç. O konuda, elektron denizinin özelliklerini açık bir şekilde kodlayan ilk kişi olan ünlü Rus kuramcı Lev Landau bir keresinde suyun özelliklerini hesaplayabilirsiniz, ama onu sadece ölçmek çok daha mantıklıdır demişti.

Yüksek sıcaklıktaki süperiletkenliğe indirgemecilerin verdiği tepki bana *New York Times*'ın kısa süre önce dünyanın en popüler esprisi olduğunu yazdığı bir espriyi hatırlatıyor.¹⁵ Sherlock Holmes ile Dr. Watson kamp yapmaya giderler:

Holmes: Watson, gökyüzündeki yıldızlara bak! Bundan ne çıkarıyorsun?

Watson: Şöyle ki, o ışık noktalarının her biri hidrojen füzyonundan güç alan dev bir güneş. Oradaki bulanık leke Andromeda galaksisi. Güçlü teleskoplar bize Andromeda'nın milyarlarca yıldızdan oluşan bir ada olduğunu söylüyor. Daha da güçlü teleskoplar bize evrenin sınırlarına kadar uzanan milyarlarca benzer galaksi olduğunu söylüyor. O güneşlerden milyonlarda birinin bile gezegeni olsa, o gezegenlerden de milyonda birinin oksijenli bir atmosferi olsa ve onlardan da milyonda birinde hayat olsa, onlardan da milyonda birinde zeki canlılar ve medeniyetler olsa bile evrende yalnız olmadığımıza emin olabiliriz.

Holmes: Hayır Watson, seni budala! Biri çadırımızı çalmış.

¹⁵ T. Kuntz, "Word for Word—The World's 'Funniest' Jokes: So this German Goes into a Bar with Dr. Watson and a Chicken," *New York Times*, 27 Ocak 2002.

İndirgemeci ideolojinin süperiletkenlik kuramında bir başka çok ilginç tezahürü vardır. Ben buna kuantum alan kuramı putperestliği adını veriyorum. Temel parçacık çalışmaları sonucu ortaya çıkmış bir matematik alanı olan kuantum alan kuramı yaygın biçimde geleneksel kuantum mekaniğinden sonra o konuda çalışmaya yönelik özel bir dil olarak –aynı zamanda bir çeşit üstün düşünme yolu olarak– öğretilir. Aslında yeni bir düşünme yolu değil, sadece kuantum mekaniğinin uzay vakumu için uygun olan özel sınırlamalar ve koşullar bağlamında yeniden ifade edilmesidir. Bu koşullar biçimciliği zarif ve öğrenmesi eğlenceli –en azından benim gibi matematik seven tipler için– hale getirir, aynı zamanda manipülasyon yoluyla bir şeyin özünü saklamayı da kolaylaştırırlar. Hileyle fiziksel bir davranış alan kuramından kaynaklanıyormuş gibi gösterilebilir, oysa aslında manipülasyonun kendisinden kaynaklanıyordur. Bardeen-Cooper-Schrieffer kuramının ortaya atılmasından kısa süre sonra, kuantum alanlar dilinin süperiletkenlerin önemli özelliklerini, özellikle süper akımların kendisini, Meissner etkisini, eşik üstü iletkenliğini ve elektronların plazma salınımları adı verilen toplu çalkalanma hareketlerini tarif etmek için oldukça uygun olduğu keşfedildi – zira bu dil karmaşık, nihayetinden önemsiz ayrıntıları varsayımlarla es geçmeye çabucak konunun özüne inmeye izin veriyordu. Bu da sonradan süperiletkenliğin tamamını alan kuramı kullanılarak açıklama alışkanlığına yol açtı, o da dolaylı olarak kuantum alanlarının süperiletkenliğe neden olduğu fikrini doğurdu. Bu fikir gülünçtür; hava durumuna mısır fiyatının neden olduğunu söylemek gibidir. Gerçekte kuantum alan kuramı işe yarar, çünkü süperiletkenliğin beliren evrenselliği işe yaramasını sağlar, tersi değil. Kuantum mekaniğinin alan kuramında şifrelenmiş mikroskobik denklemleri gerçek malzemeninkilerden farklıdır, dolayısıyla yanlıştır. Yanlış denklemlerden başlayıp doğru cevabı elde etmenin tek yolu, hesaplanan özelliğin ayrıntılara sağlam bir şekilde duyarsız olması, yani belirmesidir. Bu yüzden süperiletkenden alınan ders aslında kuantum alan kuramının üstün bir hesaplama

teknolojisi olması değil, kuantum alanlarının kendilerinin belirebildiğidir.

Bu iki geleneğin mantıksal tutarsızlığı süperiletkenlik sorununun çözülmesinin neden olduğu krizin –indirgemeci ve beliren ilkeler arasındaki bugün hâlâ devam eden karşılaşmanın– ne kadar derin olduğunu, dolayısıyla da çözümün kendisinin ne kadar heybetli olduğunu yansıtır. Cooper’ın mekanizmayı, Schrieffer’in çözümü bulduğu, Bardeen’in de çözümün neden doğru olduğunu gerçeklediği söylenir. Bu üçü arasında sonuncusu açıkça en önemlisiydi, bu yüzden de Bardeen fizikçiler arasında çok el üstünde tutulur.

Modern zamanlarda becerikli iş adamı Bill Gates’i en büyük teknoloji uzmanı olarak görmek adettendir, ama ben elektronik çağın gerçek kahramanının John Bardeen olduğunu düşünüyorum. Bardeen her zaman ekonomik sınıfta uçar ve Nobel Ödüllerine pek değer vermezdi. Bir iş arkadaşım bir keresinde öğrenciyken Bardeen’i evinde ziyaret ettiğinde birinin transistör için kazandığı Nobel madalyasını görmek istediğini anlatmıştı. Ev sahibi önce onu nereye koyduğunu hatırlayamamış, sonra etrafta aranmış, sonunda onu bir çorap çekmecesinin dibinde bulmuş. Kuantum alan kuramının en zarif yönlerinin mucidi Richard Feynman süperakışkanlık ve süperiletkenlik üzerinde çalıştığı sırada Bardeen-Cooper-Schrieffer makalesinin basım öncesi halinin postadan geldiğini hatırlıyor. Makaleyi okumadan bir çekmeceye koymuş ve aylarca okumaya gönlü el vermemiş.

Bir keresinde John Bardeen ile bir etkileşimim olmuş, sonuçta küstah, genç bir delikanlı izlenimi uyandırmıştım. Bu hikâyeden çok gurur duyuyor değilim, ama yine de onu anlatacağım, çünkü John’un hayatta olsa Freudvari imalarını çok komik bulacağını biliyorum.¹⁶ Kuzey İsveç’teki çok parçacıklı kuantum fiziğiyle ilgili bir konferansta, her yerden uzakta, dağlarda, yosun bataklıklarının ortasındaki bir

¹⁶ Bu Nietzsche’nin “Eğer kişinin bilgi yolunda bu kadar fazla utancın üstesinden gelmesi gerekmeseydi, bilginin cazibesi az olurdu,” aforizmasının mükemmel bir örneğidir. *Bkz. F. Nietzsche, Beyond Good and Evil: Prelude to a Philosophy of the Future*, W. Kaufmann, ed. (Cambridge U. Press, Londra, 2001).

avcılık sığınağındaydık. Pekin'deki başka bir konferanstan yeni gelmiş, korkunç bir bağırsak hastalığına tutulmuştum, bu yüzden herkesi uyumak istedikleri halde uyanık tutuyordum. Zaten güneş gece yarısından iki saat önce batıp dört saat sonra yeniden doğduğu için ışık sorunu korkunç bir rahatsızlık veriyordu,¹⁷ geceleyin tuvalete gidiş gelişlerim bu rahatsızlığı daha da artırıyordu. Menüde biraz fazla ren geyiği vardı –ren geyiği rostosu, ren geyiği köftesi, ren geyiği turşusu vesaire– ama İsveç çoğu zaman böyledir işte. Her neyse, kilit an ikinci gün aktivitelerinin sonunda, programda “kokteyl partisi” olarak işaretlenmiş bir etkinlikte yaşandı. Dışarıdan müthiş bir gürültü duyuldu, aceleyle dışarı çıktığımızda İsveç hava kuvvetlerinin en iyi pilotlarının kullandığı iki kocaman helikopterin avluya indiğini gördük. Sonra Bu helikopterler bizi altı kişilik gruplar halinde dağlarda birkaç kilometre uzağa, buzulların granitin içine oyduğu küçük bir gölün kenarına götürdüler. Oraya biri küçük bir çadır dikmiş, büyük bir kamp ateşi yakmış ve üzerinde “kurt sidiği” gibi bir adı olan okkalı bir sıcak şarap kaynatmıştı. Böylece o ıssız yerde parlak kuzey kutbu akşamında oturup esintinin ateşle oynamasını izleyerek bu içkiden kupa kupa içtik ve daha önceki ve sonraki hiçbir konferansın bunu aşamayacağı yönünde fikir yürüttük. Bu arada ben kendimi giderek daha rahatsız hissediyordum. Sonra helikopterle geri dönme vakti geldi ve altı kişi eve dönmek için araca doluştuk. İndiğimizde kısa bir an boyunca kimse bir şey yapmadı, bu yüzden dışarı çıkmak için insanları itip kakmaya kalktım. Arkada benimle beraber oturan çalışma arkadaşım Gherry Mahan sanki dünyanın en büyük günahını işlemek üzereymişim gibi beni bütün gücüyle geri çekti. Öndeki yaşlı bir beyefendi yavaşça ayağını kapıdan uzattı ve aşağı indi. Bu John Bardeen'di.

¹⁷ Rusya'da bu etkiye Beyaz Gece denir. Gündönümündeki doruk noktası İsveç'te milli bayram olarak kutlanır.

(Dokuz)

ÇEKİRDEK AİLE

Ama bu eski ve ebedi bir hikâyedir: Eski çağlarda Stoacılar da olan şey, bugün bir felsefe kendi kendine inanmaya başladığı anda yine oluyor. O her zaman dünyayı kendi görüntüsünde yaratır; başka bir şey yapamaz.

F. Nietzsche

Modern hayatın oldukça tuhaf gelişmelerinden biri nükleer silahların mitolojikleştirilmesidir. Bu çok farklı geçmişleri olan öğrencilerle konuşarak ve ayrıca kendi öğullarımda gözlemlediğim, nesille ilgili bir etkidir. Savaşın insani tarafını anlamakta son derece zorlanıyorlar, bu yüzden de bu cisimleri öldürme araçları değil, güç soyutlamaları olarak düşünüyorlar. Büyük oğlumu geçen yaz Hiroşima'daki atom bombası müzesine götürdüğümde bu gerçeği çok iyi anladım. Oğlum atom bombasının korkunçluğunu resmen akıl almaz buldu ve dışarıda, ünlü iskeleti kalmış atom bombası kubbesinin yanında yalnızca nehrin kıyısında gitar çalan sokak müzisyenlerini ve Kawasaki marka jet skilerle nehirde dolaşan kendi yaşındaki gençleri görebildi. Nükleer silahların kullanımı geçmişte kaldıkça bu teknoloji medeniyetin bilincinde Cumartesi sabahı çizgi filmlerindeki patlayan uzay gemileri ve şekil değiştiren robotlar gibi gerçek dışı bir hal alıyor.

Nükleer silahlar, ne yazık ki, fiziğin mühendisliğe yaptığı en sansasyonel katkıdır ve 1950'lerde bu disiplinin bir anda önem kazanmasını sağlamış, o zamandan beri de onun üzerinde silinmez bir iz bırakmıştır. Bu iz, doğası gereği in-

dirgemecidir. Radyoaktivitenin keşfi ve daha sonra nükleer tepkimelerin incelenmesi, nükleer enerjinin geliştirilmesine yol açtı. O da her şeyi kavramsal olarak atom çekirdeği kanunlarına tabi sayma gibi çok rağbet gören bir alışkanlığa neden oldu; bu en azından kısmen savaştan sonra nükleer silahlara üstü kapalı destek vermek için fiziğe yatırılmış inanılmaz miktarlardaki paranın neden olduğu bir etkiydi.¹ Kişinin dünya görüşünün hayatını kazanma şeklinden etkilenmesi doğaldır ve diğer her şeyde olduğu gibi bilimde de kuyruk, köpeği sallama kabiliyetine sahiptir.

İronik olan şu ki, nükleer silahların fiziksel ilkeleri ne incelikli, ne de sofistikedir. Eskiden çalıştığım Livermore Laboratuvarında sürekli nükleer silahlarla ilgisiz olduğu gerekçesiyle nükleer fizik araştırmalarının sonlandırılmasıyla ilgili sohbetler olurdu. Nükleer patlamalar ateş gibidir. Bir kere yakıtı topladıktan sonra hareketlenip patlaması için tek yapmanız gereken tepkimeyi başlatmaktır. İşte bu yüzden bu teknoloji gerçekten korkutucudur ve dünyanın her yanındaki devletler nükleer yakıtın yayılması konusunda bu kadar paranoyaktırlar. Parçaları bulduktan sonra nükleer silah yapmak oldukça kolaydır.

1930'larda radyoaktivitenin ölçekler dışında kimyaya çok benzediği keşfedildi.² Bir atomun çekirdeği, atomun kendisinden yaklaşık bir milyon kat küçüktür ve tepkime başına bir milyon kat fazla enerji açığa çıkarır. Tepkimelerin kendileri çekirdeğin parçalarının uzağa uçmasını, çekirdeğin yakınındaki elektronları yakalamalarını ve iki küçük çekir-

¹ Yakın zamanda Brookings Institution'ın yaptığı bir araştırmaya göre nükleer silahların 1940'tan beri doğrudan maliyetinin 5 trilyon dolardan fazla olduğu tahmin ediliyor. *Bkz. See S. I. Schwartz, Atomic Audit: The Costs and Consequences of U. S. Nuclear Weapons Since 1940* (Brookings Inst. Press, Washington, D.C., 1998). Bilimi "desteklemenin" maliyetini tahmin etmekse daha zordur, çünkü desteğin ne anlama geldiği belirsizdir. 2002 Yılı Enerji Bakanlığı bütçeleri parçacık fiziği için 700 milyon dolar, nükleer fizik için 300 milyon dolar, füzyon için 300 milyon dolardır. *Bkz. http://www.aip.org/enews/fyi/2001/134.html.*

² Nükleer fizik hakkındaki en açık ders kitabı hâlâ E. Segre, *Nuclei and Particles: An Introduction to Nuclear and Subnuclear Physics*'tir (Benjamin Cummings, San Francisco, 1977).

değin daha büyük çekirdekte birleşmesini içerir, ki bunların hepsinin ateşte meydana gelen kimyasal benzerleri vardır. Bu süreçler aynı zamanda kimyada işleyenlerle aynı kuantum mekaniği kanunlarına tabidir. Aradaki tek önemli fark, çekirdeğin çeşitli parçaları arasındaki kuvvetlerin basit olmamasıdır. Kimyada temel elektrik kuvvet vardır, başka da bir şey yoktur, ama çekirdeklerde basitçe tarif edilemeyen ve çekirdek kuvveti gibi ilham dolu bir isimle anılan kuvvetler de vardır.

Çekirdek kuvveti tipik olarak bir öğrencinin boş uzayın gerçekte boş olmadığı fikriyle ilk karşılaşmasıdır. Bu gerçeğin üstesinden gelmek fizikte bir ergenlik ayinidir ve aynı anda hem heyecan verici hem de endişe vericidir; kız arkadaşınızla karanlık bir yere sınışımak ve yanlışlıkla bir ranzalı koğuşa girdiğinizi fark etmek gibi. Ranzalı koğuştaki horlayan başka insanlar olsa da, esas olarak orada sadece ikiniz var-sınızdır, fakat davranışınız değişmiştir. Benzer biçimde, bir çekirdeğin içinde esas olarak protonlar ve nötronlar vardır, ama içinde hareket ettikleri ortam, yani görünürde boş olan uzay vakumu, davranışlarını değiştirmiştir. Her iki durumda da ortam sadece kişi hassas bir deney yaptığında, örneğin fısıldayıp ayakucunda yürüdüğünde pasiftir. O durumda cisimler birincil aktörler ve aralarındaki ilişkiler (ne kadar sıra dışı ve karmaşık olsalar da) dışında hiçbir şeyin olmadığı bir kurama uyarlar. Ama şiddetli bir deneyde ortamın dinamik doğası görünür hale gelir ve bütün bu tür kuramlar geçersiz olur.

Şiddet nükleer fizikte sıradandır, çünkü protonlarla nötronlar arasındaki kuvvetler çok büyüktür. Bir çekirdek üzerinde hassas bir deney yapma girişimleri kaçınılmaz olarak "The Pillsbury Doughboy meets Frank's Asphalt and Paving Service" adındaki ünlü Gary Larson çizgi filmindeki gibi sonlanır. Genel uygulama bunu denemek değil, bir çekirdeğin büyük bir hızla diğerine çarpıtıp neyin uçup gittiğine bakmaktır. İronik olan şudur ki, nükleer fizikteki az sayıda hassas etkiden birinin termal fisyon olduğu anlaşıldı. Bu inanılmaz doğa kazası, sıradan bir hava molekülünden hızlı gitmeyen

bir nötronun tepkimeyi başlatmasına izin verir ve böylece nötronun enerjisini yüz milyar kat artırır. Uranyumun bu olağanüstü özelliği suyun aracı olduğu nükleer reaktörleri mümkün kılan şeydir.

Başka birçok insan gibi benim de boş olmaları gerektiği halde olmayan alanlarla ilgili kişisel deneyimlerim var. 1970'lerin başlarında askerliğimi yaparken hafta sonu birliğimden bir arkadaşıyla beraber İsviçre'ye kampa gitmeye karar verdik. Rahat olsun diye trene binelim dedik, ama Stuttgart'ta bir aktarmayı kaçırdık ve Zürih'e gece o kadar geç saatte vardık ki, patikaların başına giden yerel ekspres trenler sona ermişti. O saatte oda ayırtmanın yolu yoktu, bu yüzden bugün hâlâ pişman olduğum yanlış bir karar vererek caddenin karşısındaki bir parka gittik, mor uyku tulumlarımızı çıkardık ve bir bankta uyuduk. Elbette bunu sözün gelişi söylüyorum, çünkü aslında pek uyumadık. "Yalnız değildik." O karanlık park gece boyu çok ama çok işlek kaldı ve ertesi sabah güneşi gördüğümde hiç olmadığım kadar mutlu oldum. Boş uzayın bir kurgu olduğuna inanmayan bir kişi bir geceyi parkta geçirmelidir.

Uzay sorunuyla ikinci ve daha doğrudan karşılaşma, çekirdeklerin parçacıklar oluşturma yönündeki tuhaf kabiliyetidir. Radyoaktivitenin yaygın biçimlerinden biri olan beta bozunması yüksek hızlı bir elektronun ve ona eşlik eden bir antinötrinin (hiçbir şeye çarpmadan dünyanın merkezinden geçebilen hayalet gibi bir cisim) yayılımını içerir. Bu etki; çekirdeğin bileşenlerinden biri olan nötronun çekirdeğin diğer bileşeni olan bir protona, artı bir elektrona, bir de antinötrinoya "dönüştüğü," sonra da bunların kaçtığı söylenerek açıklanır. Bu açıklama çekirdekten kurtulmuş bağımsız bir nötronun özellikleriyle tutarlıdır, bu nötron da yaklaşık bir dakikada tam bu şekilde "dönüşecektir." Öyle yaparken aynı zamanda birisini de dikkatli olmazsa kanser hastasına "dönüştürecektir;" bu yüzden de çoğunlukla bir nötron spektrometresini tamir etmeye insanın kendisinin gitmesi yerine bir yüksek lisans öğrencisini göndermesi daha iyidir. Bu durum kişiyi nötronu protonun, elektronun ve antinötrinin bağlı

bir durumu olarak tarif etmeye ve kimyasal bir tepkimedeki dengesiz bir atom ya da molekül gibi kendiliğinde parçalandığını söylemeye sevk edebilir. Ne yazı ki çekirdekteki protonun gerisin geri nötrona “dönüşerek” bu arada bir karşı-elektron, bir de nötrino fırlattığı ikinci bir beta bozunumu türü daha vardır. Dolayısıyla nötronun bir protondan, artı başka şeylerden oluştuğunu düşünmek ne doğru ne de yararlıdır. Kimyayla benzerliğin altını oyan şey karşı-parçacıkların (geleneksel parçacıkların ters yüke sahip versiyonları) varlığı ve çekirdeğin gereken enerjiyi toplayabildiği sürece istediği anda vakumdan parçacık/karşı-parçacık çiftleri çıkarabilmesidir. Bu şekilde hangi tür beta bozunumunun gerçekleştiği çekirdek kuvvetinin enerji bütçesine bağlıdır. Çekirdek kuvveti çekirdekte nötronların sayısının protonlarınkinden fazla, ama sadece biraz fazla olmasından hoşlanır.

Karşı-madde doğanın bilimkurgu yazarları tarafından uydurulmuş olamayacak kadar çılgınca olan acayip gerçeklerinden biridir. Sıradan maddenin tam bir kopyasıdır ama bütün elektrik yükleri ters çevrilmiştir, öyle ki sıradan maddeyle tepkimeye girdiğinde korkunç bir patlama her şeyi yok eder ve ardında hiddetli bir gama ışınları (nükleer fizikçilerin kısa dalga boylu ışık için kullandığı terim) yığını bırakır. Bu patlama *Star Trek*’teki [*Uzay Yolu*] *Enterprise* yıldız gemisine güç sağlayan etkidir. Hep *Star Trek*’te o gamalara yeterince saygı gösterilmediğini ve aşağı katlardaki zavalı mühendislere gerçekçi olsun diye kurşun iç çamaşırları verilmesi gerektiğini düşünmüşümdür. Belki de bu bütün o uzaylıların nereden geldiğini açıklayabilir. Fakat *Star Trek*’in aksine, karşı-madde gerçektir. Her gün radyoaktif bozunum vasıtasıyla ve dünyanın dört bir yanındaki büyük hızlandırıcı laboratuvarlarında oluşturulur.

Karşı-maddenin varlığı ve özellikleri evrenin doğasıyla ilgili son derece önemli ipuçları verir. 1920’lerde yalıtılmış bir parçacık için, hem düşük hem de yüksek hızlarda ölçülmüş hareketini doğru tarif edebilen kuantum hareket denklemleri yazmanın temelde imkânsız olduğu keşfedildi. En basit –ve deneysel olarak doğru olduğu anlaşılan– çözüm

uzayı sıradan bir taş benzer birçok parçacık içeren bir sistem olarak tarif etmektir. Bu, tam olarak doğru bir önerme değildir; zira Paul Dirac görelî elektron kuramını kristalli katılardaki elektronlar ve deşikler anlaşılmadan önce formüleştirmiştir, ama geriye bakıldığında ikisinin tam olarak aynı fikir olduğu ortadadır. Dolayısıyla kimyasal bağlara kilitlenmiş birçok elektronun olduğu temel silisyumda bir elektronu kimyasal bağından koparıp bir deşik oluşturmak mümkündür. Ardından bu deşik hareketli hale gelir ve her bakımdan silisyuma eklenmiş fazladan bir elektron gibi hareket eder, sadece elektrik yükü tersinedir. Bu karşı-madde etkisidir. Ne yazık ki deşik fikri bir katının bağ uzunluğuna fiziksel olarak benzer bir şeyin yokluğunda mantıklı değildir, çünkü bu uzunluk koparılan elektronların yoğunluğunu sabitler. O olmasa arka plan elektron yoğunluğunun sonsuz olması gerekirdi. Fakat böyle bir uzunluk uzayın tercih edilen ölçeklerinin olmasını yasaklayan görelilik ilkesiyle temelden çelişkilidir. Bu ikilemin çözümü hiç bulunamadı. Onun yerine fizikçiler bu sorunu hasır altı etmek için zeki anlambilimsel teknikler geliştirdiler. Bu yüzden deşikler yerine karşı-parçacıklardan söz ederiz. Bağ uzunluğu yerine morötesi sınır adı verilen bir soyutlamadan, sorunu düzenlemek, yani mantıklı olmasını sağlamak için soruna eklenmiş küçücük bir uzunluk ölçeğinden söz ederiz. Bu ölçeğin altında sanki bu ölçekte denklemler geçersiz hale gelecekmiş gibi hesaplar yarıda bırakılır, çünkü o bağ uzunluğudur. Morötesi sınır bütün hesaplara taşınır ve en sonunda ölçülmeyecek kadar küçük olduğu, dolayısıyla var olmadığı iddia edilir.

Morötesi sınır sorunu bana Mel Brooks'un *Genç Frankenstein* filmindeki bir sahneyi hatırlatır. Dr. Frankenstein kambur hizmetçisi Igor'a kamburuyla nasıl yaşadığını sorar. Igor da, "Hangi kambur?" diye cevap verir. Işığın evreni istila etmiş gibi görünen elektronlar okyanusuyla iletişim kurma biçiminin matematiksel açıklaması olan kuantum elektrodinamiğinin büyük bölümü, morötesi sınırın ölçülemezliğini göstermekten ibarettir. Bu iletişim, büyüktür ve olağanüstü bir içerimi vardır: Gerçek ışıktaki uzayın vakumunu işgal eden

bir şey, yani bütün o elektronlar (ve başka şeylerin de) hareket eder, fakat bu hareketin derecesi morötesi sınırın değerine hassas bir şekilde bağlıdır; o da bilinmemektedir. Hangi tür düzenlemenin en iyisi olduğuna, sınırın gerçek mi, yoksa hayal ürünü mü olduğuna, göreliliğin feda edilmesinin gerek- kip gerekmediğine ve kimin gerçeği göremeyecek kadar mi- yop olduğuna dair sonu gelmeyen tartışmalar yürütülür. Bu berbat bir durumdur. Morötesi sorununun üstesinden gel- me potansiyeli aynı zamanda sicim kuramının cazibesinin derinde yatan sebebidir. Vakum için mikroskobik bir model olan bu kuram ölçülmüş olan hiçbir şeyi açıklayamamıştır.

Basitçe sorundan geriye çekilir ve onu bir bütün olarak incellerseniz, bu çılgınlığın kaynağını kolaylıkla görebilirsi- niz. Boş uzayın hayatlarımızla ilişkili özellikleri, bir madde haline özgü bir beliren olgu olmanın bütün belirtilerini gös- terir. Basittirler, kesindirler, modele duyarsızdırlar ve evren- seldirler. İşte morötesi sınırına duyarsızlığın fiziksel anlamı budur.

Uzay vakumuyla maddenin düşük sıcaklıktaki halleri arasındaki benzerlikler fizikte efsaneleşmiştir. Haller sta- tik, düzgün kuantum durumları olmakla kalmaz, en incelikli içsel hareketleri fiziksel olarak temel parçacıklarınkinden *çok genel anlamda* ayırt edilemez.³ Bu, bilimdeki en hayret verici gerçeklerden biridir ve öğrencilerin, endişe verici ve inanması zor bulduğu bir şeydir. Hatta kişi soğuk hallerin matematiksel tariflerini ne kadar çok incelerse madde ve uzayın paralel terminolojilerini birbiriyle dönüşümlü ola- rak kullanmaya o kadar alışır. Böylece bir madde hali ye- rine vakumdan söz ederiz. Parçacıklar yerine uyarımlardan söz ederiz. Toplu hareketler yerine yarı parçacıklardan söz ederiz. "Yarı" ön eki bu cisimlerin fiziksel anlamıyla ilgili yü- rütülmüş tarihi mücadelelerin bir kalıntısıdır ve bir anlam taşımaz. Kendi aramızdaki konuşmalarda numara yapmayı bırakır ve cisimlerden parçacık olarak bahsederiz.

³ Maddenin düşük enerjili kuantum mekaniğine dair klasik referans C. Kittel, *Quantum Theory of Solids*'tir (Wiley, New York, 1987). Ayrıca bkz. J. R. Schrieffer, *Theory of Superconductivity* (Benjamin, New York, 1983).

Sıfır sıcaklıklı haller ne yazık ki en azından yüzeysel olarak çok karizmatik değildir, bu yüzden de insanların onlara kafayı takması teknolojik mizah için kolay bir hedef olmuştur. Örneğin 1970'lerin ortalarında ben öğrenciyken bu insanlarla ilgili, *National Lampoon*'un *Bonanza* televizyon programında Hoss'u oynamış aktör Dan Blocker hakkında yayımladığı o korkunç yazıyı temel alan bir şaka duymuştum. Dan kısa süre önce pulmoner amboliden ölmüştü ve yazı kadrosundaki birileri onunla "röportaj" yapmanın ve ona program, günlük olaylar, en yeni filmler vb hakkında çeşitli sorular sormanın, onun da sürekli sessizlikle cevap vermesinin komik olacağına karar vermişti. Bu yazıya dayalı şakada Dan bir helyum-3 tankı olarak yeniden doğmuştu ve aynı kişi ona yeni hayatını, kendini akışa bırakmanın nasıl bir his olduğunu, hiç uyarılıp uyarılmadığını, baskıya nasıl dayandığını filan soruyordu. Bu MIT'de olmuştu.

Ama bu takıntı daha fazla düşünülerek değerlendirildiğinde o kadar komik değildir. İnsanlar bu sistemler üzerinde muazzam bir azimle çalıştılar ve kimi durumlarda kendi mali güvenliklerini tehlikeye attılar, zira sıfır sıcaklık halleri (yarı iletkenler ve sıradan metaller dışında) çok az ekonomik değer yaratır, bu yüzden de para sağlayanlar ve yatırımcılar onlardan hiç hoşlanmazlar. Fakat bu durumun mükemmel bir sonucu bütün bu çalışmaların genellikle güvenilir olmalarıdır; zira hepsi zevk için ve büyük bir özen ve açıklıkla gerçekleştirilmiştir. Duyduğumuz güvenin kaynağı, karşı-parçacıklarla sıradan kristalli yalıtıcılardaki değişiklikler arasındaki benzerliğin kesin, sağlam ve evrensel olmasıdır. Bu sayede benzerliğin süperiletkenler ve kristalli düzen içermeyen kusursuz derecede homojen bir madde olan süperakışkan helyum 3 için de geçerli olduğunu biliriz.⁴ Bu sayede süperakışkan sıvı ve gazın var olduğunu⁵ ve bir atom çekir-

⁴ ³He ile ilgili muazzam bir literatür vardır. Bkz. D. Vollhardt and P. Wölfe, *The Superfluid Phases of Helium 3* (Taylor and Francis, Londra, 1990); D. D. Osheroff, *Rev. Mod. Phys.* 69, 667 (1997); G. E. Volovik, *Exotic Properties of Superfluid ³He* (World, Singapur, 1998). Ayrıca bkz. <http://boojum.hut.fi/research/theory>.

⁵ Sıvı hali iyi bilinir, ama gaz hali kısa süre önce keşfedilmiştir. Bu hal

değinin içindeki maddenin akışkan olduğunu biliriz. Bu son kısım nötron yıldızlarıyla⁶ ve onların yüzeylerinde oluşabilen kuantum sıvı kristal halin kabuğuyla⁷ ilgili anlayışımızın temelini oluşturur.

Elektronlar ve deşiklerden sonra taşlarda parçacıkların belirmesinin en basit örneği ses kuantumlanmasıdır. Bu hayret verici olgu, bildiğim, gerçek büyüye en yakın şeydir. Herkes sesi elastik maddenin titreşmesi olarak bilir. Bu madde tipik olarak havadır, ama yan dairede gürültülü bir parti devam ederken uyumaya çalışan herkesin bildiği üzere katı duvarlar da olabilir. Bu ikisi içinde katılardaki ses, kuantum bakış açısından daha ilginçtir, çünkü ultra düşük sıcaklıklarda bile mevcuttur ve mantıklıdır. Bu sıcaklıklarda yapılan ölçümler sesin parçacıklı olduğunu açığa çıkarır. Örneğin bir katıya bir ses dönüştürücüsünün takıldığını ve açıldığını, böylece katının içine ses gönderildiğini, sonra sesin miktarını azaltmak için yoğunluğunun azaltıldığını düşünün. Katının diğer tarafındaki bir ses alıcısı hafif bir ton değil, rastgele zamanlarda gelen keskin enerji darbeleri tespit eder. Bu kuantumlanmış darbe aktarımı yoğunluk artırıldığında daha tanıdık olan ton aktarımına dönüşür; bu, kuantum mekaniğinden Newton gerçekliğinin belirmesinin günlük bir örneğidir. Ama düşük yoğunluklarda bu belirme gerçekleşmez ve kaçınılmaz olarak ses parçacıklarının var olduğu, fakat katı atomlarına ayrıldığında var olmadığı sonucuna varılır. Parçacıklar da tıpkı katının kendisinin belirmesi gibi belirirler.

Ses kuantumlanması parçacığın belirmesinin özellikle eğitici bir örneğidir, çünkü atomların uyduğu alta yatan kuantum mekaniği kanunlarından başlayarak kesin bir şekil-

genellikle atomik bir "Bose-Einstein yoğunlaşması" adıyla anılır. *Bkz.* M. H. Anderson vd., *Science* 269, 198 (1995).

⁶ Nötron maddesi ve nötron yıldızlarının iç kısmı üzerine kapsamlı bir literatür vardır. *Bkz.* J. Saham, *J. de Phys.* 41, C2-9 (1980) ve J. A. Sauls, "Superfluidity in the Interiors of Neutron Stars," in *Tuning Neutron Stars*, H. Ogelman, E. Van den Heuvel ve J. van Paradis, editörler (Kluwer, Dordrecht, 1989), ss. 441-490.

⁷ *Bkz.* A. D. Kaminker vd., *Astron. Astrophys.* 343, 1009 (1999).

de, bütün ayrıntılarıyla çözülebilir; şüphesiz, önce atomlar kusursuz biçimde kristalleşmiş olarak varsayılırsa. İşte kuantumlanmış sesin kristalli olmanın evrensel bir özelliği olmasından kast ettiğimiz budur. Bu olgu Goldstone teoreminin, yani kendiliğinden kırık simetri sergileyen herhangi bir maddede parçacıkların zorunlu olarak belirdiği önermesinin prototipik örneğidir. Bu analiz, aynı zamanda ses parçacıklarının karşılık gelen tonun perdesi azaltıldıkça giderek daha fazla bütünlük kazandıklarını ve düşük ton sınırında kesin bir hal aldıklarını açığa çıkarır. Bir katının içinde yayılan çok yüksek perdeli ses kuantumları olasılık olarak daha düşük perdeli iki ya da daha çok ses kuantumuna bozunabilir ve bu bozunma da radyoaktif bir çekirdeğinkiyle ya da pion gibi temel bir parçacığinkiyle uygun bir benzerlik taşır. Bunların bozunumlarının elastik doğrusal olmamaya (bir katının maruz kaldığı gerilim büyük olduğunda katının bozulmasının bu gerilimle orantılı olamamasıyla, bir kırılmadan hemen önce olduğu gibi) aynı şey olduğu anlaşılmıştır. Ama sesin dalga boyu arttıkça, bu doğrusal olmama hali giderek daha az fark ettiği için, ton alçaltıldıkça bozunmanın zaman ölçeği artar ve sonunda sonsuz hale gelir. Ses kuantumlanması, fizikte büyü gibi görünen bir şeyin, derinlemesine analizle büyü değil sezginin başarısızlığı olduğunun ortaya çıkmasının çok güzel bir örneğidir.

Sesin kuantum özellikleri ışıkinkilerle aynıdır. Bu gerçek önemlidir, zira sesin elastik maddenin toplu bir hareketi olduğu, ışığın ise görünürde öyle olmadığı düşünüldüğünde aşikâr değildir. Bu analogi en basit ve dolaysız biçimde ısı kapasitesiyle açığa çıkarılır. Kristalli yalıtıcıların ısı depolama kabiliyeti dondurucu ortamlarda sıcaklığın küpü olarak evrensel bir şekilde düşer. Bu etki kuantum mekaniğinin bir sonucudur, çünkü eğer bütün atomlar Newton kanunlarına uysaydı ısı kapasitesinin sabit ve büyük olacağını (oda sıcaklığında olduğu gibi) göstermek kolaydır. Boş uzayın ısı kapasitesi, bu kurala kesin bir şekilde uyar. Elbette uzay ısıtıldığında boş değil ışıkla dolu olur ve bu ışığın rengi ve yoğunluğu da sıcaklığa bağlıdır. Bu etki sıcak korların ya-

yınladığı kızıl ışıltıdan ve bir ışık ampulü filamanının parlak beyaz ışığından ya da güneşin yüzeyinden tanındıktır. Sıcak bir kristal de benzer biçimde sesle doludur. Her iki durumda da ısı kapasitesinin özgül sıcaklık bağımlılığı, ışık ya da sesin ancak ayrık miktarlarda yaratılabildiği ya da yok edilebildiği varsayımından elde edilmiş basit bir formül olan Planck kanunuyla niceliksel olarak açıklanır.⁸ Hatta kristalli bir katının ısı kapasitesinin formülü boş uzayınkiyle aynıdır, sadece ışık hızının yerine ses hızı koyulur. *Fonon* adı verilen beliren ses kuantumu, ışık kuantumu *foton*la uygun bir benzerlik taşır. Bu iki parçacık türünün fiziksel eşdeğerliği bazıları oldukça güzel ve zekice olan çok sayıda deneyle onaylanmıştır.⁹

Fononlarla fotonlar arasındaki benzerlik bariz bir şekilde ışığın kendisinin belirip belirmediği sorusunu gündeme getirir. Burada, meşru olan bir hal olarak uzay vakumu sorununu, sahte olan bildiğimiz bir hal olup olmadığı sorunundan ayırmaya özen gösterilmelidir. Vakumun bir hal olmadığını, çünkü bir katı olmadığını (ki değildir) söyleyen yaygın argüman, ölen bir kişinin hastalığının olmadığını, çünkü çiçek hastalığı olmadığını söylemek gibidir. Madde- nin hallerinin hepsi keşfedilmemiştir ve bunlar kesinlikle ilk prensiplerden tümdengelimle bulunamaz. Bu, gündelik kimya dünyasında bile doğrudur, evrenin olası mikroskobik temellerinin çok daha büyük dünyasında ise daha da doğrudur. Bu konu hakkında üretken bir şekilde düşünmek için bildiğimiz şeylere odaklanmalı ve aşırı kuramlaştırmamalıyız. Sesle ışık arasındaki benzerlik açıklama gerektirir, zira ikisinin kuantum mekaniğinin aynı olmasının aşikâr bir sebebi yoktur. Işık söz konusu olduğunda bunun var sayılması

⁸ Birim hacim başına ışık ve ses için termal enerji formülleri $u^{\text{ışık}} = \pi^2/15 (k_B T)^4/(hc)^3$ ve $u^{\text{ses}}/u^{\text{ışık}} = (c/v_l)^3 + 0,5 (c/v_l)^3$, burada v_l ve v_t sesin enine ve boyuna hızlarıdır.

⁹ Benim en sevdiğilerimden biri dönme çevrilmesiyle üretilmiş tek bir fonon kullanılarak yalnızca birkaç atom kalınlığındaki bir helyum filminin kalınlığının ölçülmesidir. *Bkz.* E. S. Sabisky ve C. H. Anderson, *Phys. Rev. A* 7, 790 (1973). Ayrıca *bkz.* D. J. Bishop ve J. D. Reppy, *Phys. Rev. Lett.* 40, 1 727 (1978) ve içindeki referanslar.

gerekir. Bu mantıksal boşluk son derece utandırıcıdır ve biz fizikçilerin resmi dille gizlemeyi tercih ettiğimiz bir şeydir. Bu yüzden ışığın ve sesin kanonik kuantumlanma ve altta yatan özgürlük mertebelerinin bozonik doğası sayesinde Planck kanununa uyduğunu söyleriz. Ama bu açıklama filan değildir, çünkü bu akıl yürütme daireseldir. Karmaşıklığından arındırıldığında, “kanonikkuantumlanma” sadece ışığın sesin özelliklerine göre modellenmiş özelliklere sahip olma gerekliliğinden ibarettir.

Işığın ayar etkisi denilen can sıkıcı ve seste bir benzeri olmayan bir özelliği vardır. Bu özellik sık sık ışığın beliremeyeceğini ileri sürmek için kullanılır. Bu argüman yanlışır, çünkü ışığın belirmesi için birçok yöntem hayal edilebilir, ama etki yine de ışıkla ses arasındaki önemli bir fiziksel ayrıma işaret eden ciddi bir kavramsal konudur. En basit tezahürü ısı kapasitesindedir. Bir ses dalgası yakından geçtiği zaman belirli bir atom kafesteki statik konumundan biraz uzaklaşır. Bunu yapmasının üç ayrı yolu vardır: sol-sağ, yukarı-aşağı ve ileri-geri. Bunların her biri ısı kapasitesine ayrı katkıda bulunur ve fiilen son cevabı üçe katlar. Ama ışık da bir şeyin yer değiştirmesi olduğu halde, ışık için karşılık gelen katlama faktörü yalnızca ikidir. Üç eksenden birinde evrenin zımbırtısı (her ne ise) titreşemez (en azından deneysel olarak ulaşılabilir sıcaklıklarla ilgili zaman ölçeklerinde) ve ısı depolayamaz. Bunun altında yatan mikroskobik sebep bilinmemektedir ve modern fizikte bir ön doğru olarak kabul edilir.

Ama ayar etkisini basitçe tanımlayarak geçiştirmenin bir dizi nahoş yönü vardır ve bunlar şüphe uyandırıcı bir şekilde beliren bir olgunun indirgemeci bir yorumundaki boşlukları andırır; kilerdeki patlamış mısırın arkasında bulduğunuz, evinizde fare olduğunu açığa çıkaran o küçük kanıt parçaları gibi. Örneğin; bir titreşim modunu, özellikle de kendi başlarına üç yönün hepsinde kusursuz biçimde titreşen cisimlerin (bir vakumdaki elektronların) hareketini içeren bir modu olduğu gibi yok etmenin zor olduğu anlaşıldı. Püf noktası ışığın kuantum mekaniksel dalga fonksiyonunun evrendeki

bütün elektriksel olarak yüklü maddeyle (uzay vakumunun kendisinde gömülü olanlar dâhil) aralarında bir fiziksel temas olmadan önce belli bir şekilde dolanmış olduğunu varsaymaktır. Bu dolanıklık bir kere kurulduktan sonra, son-
suza kadar devam eder ve belli şeylerin olmasını yasaklar. Ayrıca ayar etkisinin görelilik ilkesiyle temel uyumsuzluğu da vardır, o da morötesi sınırı manipüle edilerek hasıraltı edilir. Son olarak, dalgaların dolanıklığa şifrelenmiş "fiziksel olmayan" hareketlerinin hayatlarına matematiksel tarifte fiziksel hareketler olarak başlamaları ve ancak hesabın en sonunda ölçülememeleri nedeniyle fiziksel olmaktan çıkmaları sorunu vardır.

Ayar etkisinin beliren nedeni için ciddi bir aday süperiletkenliktir. Süperiletkenlikle ayar etkisi arasındaki iyi bilinen ahenk Meissner etkisinin kesinliğiyle ilişkilidir ve süperiletkenliğin başlamasına sık sık ayar simetri kırılması adı verilmesinin sebebidir. Bu aynı zamanda süperakışkanlığın bir ayar ilkesinin belirebildiği çoğu modelin merkezi bir bileşeni olmasının da sebebidir. Şu ana kadar inşa edilen bütün bu tür modeller zorlama ve yetersizdir; bu yanlış olmalarından çok yanlışlanamaz olmalarından dolayıdır. Ulaşabildiğimiz deneysel ölçeklerde bu modeller ne birbirlerinden ne de ayar ilkesinin sadece varsayıldığı modellerden ayırt edilebilir. Ölçülemeyen şeyleri yok ilan etme (sorun deneysel eksikliklerde olduğunda dahi) şeklindeki kabul edilmiş uygulama, meseleyi şüpheli hale getirir.

Vakum özelliklerinin belirmesinin çok daha az tartışmalı bir örneği, bir yanda elektrik ve nükleer bozunum kuvvetleri, diğer yanda W ve Z bozonları denilen iki özel temel parçacığın kütleleri arasında görülen özel ilişkidir.¹⁰ Bu ilişkinin ardındaki fiziksel fikir, bir süperiletken akışkanın –daha kesin olarak, böyle bir akışkanın çok bileşenli soyutlamasının– evrene hâkim olması ve bir laboratuvar süperiletkeninin elektrik kuvvetlerini değiştirmesine biraz benzeyen bir biçimde elektrik kuvvetini değiştirerek zayıf çekirdek

¹⁰ Bkz. P. M. Watkins, *Story of the W and Z* (Cambridge U. Press, Londra, 1986).

kuvvetini yaratmasıdır. Bu akışkan aynı zamanda çalkalanma hareketleri de yapar. Bu hareketler bir katıdaki ses gibi kuantumlanmıştır, bu yüzden de deneylerde parçacıklar olarak görünürler.¹¹ Süperiletkendeki karşılık gelen çalkalanma hareketi *plazmon* adını taşır ve elektron mikroskobu deneylerinde rutin olarak görülür.¹² W ve Z bozonlarının var oldukları gözlemlenmiştir, ayrıca aralarındaki hafif kütle farkı tam olarak çekirdek ve elektrik kuvveti güçleri arasında gözlemlenmiş farkların gerektirdiği değerdedir. Böyle bir akışkanın gerçekten var olup olmadığı hâlâ tartışma konusudur, çünkü akışkanın daha sofistike bir çalkalanma hareketi olan Higgs parçacığı henüz gözlemlenmemiştir. Bunun nedeninin mevcut hızlandırıcıların teknik sınırlamaları olduğu neredeyse kesindir ve çoğu fizikçi Higgs parçacığının çok geçmeden bulunmasını beklemektedir.

Vakumun başka birçok yönü de şüpheli biçimde beliriyor gibi görünür. Örneğin vakumun kuantum alanı kuramı tarifinin büyük basitliği vardır; bu sıra dışıdır, çünkü sıradan maddede bu tarifler belirdikleri haller (bir süperiletken ya da süperakışkanda olduğu gibi) dışında karmaşık olma eğilimindedir. Ayrıca ölçeklerin hiyerarşisi, olguların giderek daha büyük uzunluklar ve sürelerde daha alt sırada olma eğilimi vardır. Vakumun çok yüksek sıcaklıklardan soğutulduğu zaman birleşme geçişleri adı verilen, tabiat kuvvetlerinin sıralı olarak temel üstlerinden ayrıldıkları aşamalı olaylara maruz kaldığı düşünülür. Benzer şekilde, bir nadir toprak elementi olan holmiyum metali çok yüksek bir sıcaklıktan soğutulduğunda önce 2993 Kelvin derecede sıvı halinde yoğunlaşır, sonra 1743 derecede katılaşır, ardından 130 derecede özel türde sarmallı bir manyetizma geliştirir, daha

¹¹ Kendiliğinden simetri kırılmasının süperiletkenlerin fiziğindeki Higgs mekanizmasındaki eşdeğerliği ilk olarak P.W. Anderson, *Phys. Rev.* 130, 439'da (1963) ortaya koyuldu.

¹² Plazmonların kısa bir matematiksel tarifi için bkz. A. A. Abrikosov, L. P. Gorkov, and I. Dzyaloshinskii, *Methods of Quantum Field Theory in Statistical Physics* (Dover, New York, 1963), s. 195.
2012 yılında CERN'deki ATLAS ve CMS deneylerinde Higgs bozonu gözlemlendi ve kütlesi 125 GeV olarak ölçüldü –yn.

sonra da 20 derecede spirali eğerek zayıf bir demir mıknatıs oluşturur.¹³ 130 derece ile 20 derece arasında spiralin eğimi sanki eksenini boyunca gerilen lastik bir vidaymış gibi sürekli değişir. Bu geçişlerin her biriyle beraber metaldeki elektronlar arasındaki sıralanmış durumların çeşitli elastik bozulmalarıyla aktarılan "kuvvetler," vakumda gerçekleşen şeyle güzel ve uygun bir benzerlik taşıyan bir şekilde temel üstten ayrılırlar. Vakumun birleşme geçişlerini görmek için gereken sıcaklıklar laboratuvarında elde edilemez, hatta en büyük yıldızların merkezlerinde bile elde edilemez, bu yüzden birleşme kanıtı dolaylıdır, ama eğer deneyler yeterince büyük uzunluk ve süre ölçeklerine ulaşabilseydi eğik spiral mıknatısta bulunabilecek olan şeyle hoş bir biçimde benzeşirdi. Bu kanıt parçalarının en güçlülerinden biri, erişilebilir ölçümlerin basit ve gereksiz olmalarına (bir ölçüm diğerini öngörür) sebep olan, ama aynı zamanda hiyerarşik ağacın en üstündeki kuvvetler hakkında bir şeyi açığa çıkaramayan bir etki olan yeniden normalleşebilmedir. Böyle başka birçok deney vardır.

1950'lerde nükleer enerji kullanılmaya başladıkça ve çekirdek kuvvetinin işleyişini keşfetmek için büyük hızlandırıcılar inşa edildikçe, yavaş yavaş çekirdek altı ölçeklerde işlerin basitleşeceği yerde karmaşıklaştığı ortaya çıktı. Ayar ilkesi, görelilik ve karşı-maddenin genel özellikleri geçerliliğini koruyordu, ama temel parçacıkların sayısı çoğalmaya başladıkça, aralarındaki etkileşimlerle ilgili kurallar da çoğaldı. Bu keşiflerin hiçbiri ne atom çekirdeklerini, ne de atımları anlamaya yardımcı oldu ve bugün bile standart

¹³ H. P. J. Wijn, ed. Landolt-Börnstein, *Group III: Crystal and Solid State Physics, Vol 19: Magnetic Properties of Metals, Subvolume d1: Rare Earth Elements, Hydrides and Mutual Alloys* (Springer, Berlin, 1991). Nadir toprak bileşen ve alaşımlarının manyetik özelliklerine dair muazzam bir literatür vardır. Bkz. J. Jensen and A. R. Mackintosh, *Rare Earth Magnetism* (Clarendon Press, Oxford, 1991). Temel holmiyumdaki spiral anti demir manyetizmasının ilk keşfi W. C. Koehler v.d., *Phys. Rev.* 151, 414'tür (1966). Daha yakın zamanlı araştırmalar hafif düşük sıcaklıklarda spiralin altta yatan atom kafesiyle aynı mertebede olmasıyla ilişkili başka hal geçişleri de buldu. Bkz. R. A. Cowley ve S. Bates, *J. Phys. C* 21, 4113 (1988) ve D. Gibbset vd., *Phys. Rev. Lett.* 55, 234 (1985).

temel parçacıklar modelini kullanarak proton ve nötronun kütlelerini hassas biçimde hesaplamak mümkün değildir. Denklemler fazlasıyla karmaşıktır. Şüphesiz ki böyle bir karmaşıklık sıradan maddede acı bir şekilde tanındıktır; zira bir silisyum parçasında eğer onu fazla şiddetli ölçme hatasını yaparsanız gerçekleşen şeyin aynıdır. Yakınlaşıp elektronların vedeşiklerin incelikli, evrensel basitliğini geride bırakır, kimyayla ilişkili ilginç ama nihayetinde çeşit çeşit ilgisiz ayrıntıyı ölçmeye başlarsınız. Acı bir şekilde tanıdık olan bir başka şey, vakumdaki kesin değerleri olan ama birbiriyle basit bir biçimde ilişkili görünmeyen parçacık kütlelerinin ve bağlantıların çoğalmasındır. Bu tıpkı kimya kütüphanelerinin referans bölümlerindeki raflar dolusu afallatıcı madde özellikleri gibidir. Bu veriler bildiğimiz kadarıyla birkaç temel şeyden mantıksal olarak ortaya çıkar, ama hesaplanmalarından ölçülmeleri ve tablolara dökülmeleri daha kolaydır.

Fizikteki indirgemeci paradigmanın başının belada olduğuna dair bütün bu kanıtlara rağmen, çekirdek altı deneyler hâlâ genel olarak indirgemeci açıdan tarif edilir. Standart model kapsamındaki düşüncelerin büyük bölümünün vakumun bir hal olduğu ve fizik kanunlarının çekirdek ölçeğinde makul ölçüde basit ve anlaşılır olduğu (ama daha altında olmadığı), çünkü o halde evrensel özellikler oldukları fikrini yansıttığı göz önüne alındığında bu durum özellikle tuhaftır. Yine de düşük enerjili evrensellik yerine fizikçiler etkin alan kuramından söz ederler. Haller yerine simetri kırılmasından söz ederiz. Hal geçişleri yerine kuvvetlerin birleşmesinden söz ederiz. Bu durum bana kimsenin ölmediği, onun yerine "olumsuz hasta bakım sonucu yaşadığı" ya da "iyileşme potansiyelini elde edemediği" bir hastaneyi hatırlatır.¹⁴ Her iki durumda da karışıklık ideolojiktir. Bir hastanın ölümü, hastanenin hayatı koruma görevinin düşünölemeyecek bir şekilde başarısız olmasıdır. Hal örgütlenmesi ilkelerini anlamamanın ikinci sıraya itilmesi de, benzer biçimde, evrene ma-

¹⁴ Bu özel hüsnütahirler H. Noel'in *Senior World Online*'da yayınlanmış "The Front Porch—Euphemisms"indindendir. <http://www.seniorworld.com/articles/a19991013195512.html>.

tematik yoluyla hâkim olma görevinin düşünölemeyecek bir şekilde başarısız olmasıdır. Önem taşıyan durumlarda mitolojiler muazzam derecede güçlü şeylerdir ve kimi zaman biz insanlar dünyayı olması gerektiğini düşündüğümüz şekilde görmek için (kanıtlar hatalı olduğumuzu söylese de) çok büyük çaba harcarız.

Elbette bunu söylemenin daha dünyevi bir yolu vardır. İş arkadaşım George Chapline bana atfettiği, ama onun bulduğunu açık seçik hatırladığım, Bilimin İlk Teoremi adını verdiği bir önermeyi alıntılamaktan hoşlanır: Birini ona para kaybettirecek doğru bir şeye ikna etmek imkânsızdır. Muhtemelen Bilim kısmını atıp ona kısaca İlk Teorem adını vermeliyiz.

Bu teoremin bir neticesi, doğrunun kimi zaman görelî olmasıdır. Lise öğrencisiyken oldukça açıklayıcı bir siyasi benzetime katılmıştım. Öğretmenlerimiz bizi her biri farklı bir hayali ülkenin hükümetini temsil eden takımlara ayırdılar. Her takıma bir dünya tarihi, bir görev beyanı, bir miktar askeri kapasite vb içeren bir dizi talimat verildi ve bir masa atandı. Oyunda Diplomatik Paketlerde (küçük kâğıt parçaları) mesajlar gönderip alınıyor ve Dünya Forumunda (odanın önündeki alüminyum bir masa) konuşmalar yapılıyordu. Doğrudan kişisel temasa izin verilmiyordu. Küçük ölkelerden biri olan ölkem zengin uranyum yataklarına sahip olmasıyla diğerlerinden ayrılıyordu. Büyük ölkelerde hiç uranyum yoktu. Başkan olarak görevim, cevheri bütün alıcılara satarak ve büyük ölkelerden hiçbirinin düşük fiyatlar alamamasını sağlayacak şekilde güç dengesini koruyarak halkım için bu yatakların değerini en üst düzeye çıkarmaktı. Böylece yaklaşık iki saat boyunca oynadık, sıkıcı konuşmalar yaptık ve birbirimize mantıklı gelmeyen mesajlar gönderdik ve o noktada aniden büyük ölkelerden biri dünya barışı ve güvenliği adına beni işgal etti. Ölkem küçük olduğu için savaş çok uzun sürmedi ve görevden alındım. Bu sersemletici bir ihanetti; bunlar benim *dostlarımdı*. Oyunun nasıl bittiğini bilmiyorum, çünkü artık iktidarda değildim, bu yüzden de bir sandviç almak için dışarı çıktım. Ama oyun sona erdikten

sonra organizatörler sırrı açıkladılar: Her ülkeye farklı bir dünya geçmişi verilmişti. Ben kârımı en üst düzeye çıkarmaya çalışırken rakiplerim bir ulusal güvenlik konusu olarak o cevher yataklarına kafayı takmıştı. Büyük ülkelerin her biri diğerinin onların erişimini önlemek için entrika kurduğuna ve hükümetimin gizlice diğeriyle ticaret yaptığına inanıyordu. İşgal etmelerine şaşmamalı.

Diğer her şeyde olduğu gibi bilimde de mitoloji hastalığının en iyi antikoru okkalı bir deneysel gerçeklik dozudur. Atom bombası atıldığında Hiroşima'da olan Chung-Wook Kim adında bir iş arkadaşım var. Kore kökenli olan Kim şu anda Seul'daki Kore Gelişmiş Çalışmalar Enstitüsünün başkanlığını yürütüyor. Babası 1940'larda çok Japon yanlısıymış ve yabancı bir iş adamı olarak Hiroşima'da çalışıyormuş. Kim, o sırada beşinci sınıftaymış. Dördüncü sınıf ve üstündeki bütün çocuklar sıfır noktasından yaklaşık dokuz kilometre uzaktaki bir tapınağa sığınmışlar. Orada sabahları derslere giriyor, öğleden sonra da yenilebilir otlar topluyor ve bambu dallarıyla, Roosevelt ve Churchill'i hedef olarak kullanarak askeri eğitim görüyorlarmış. Kim sabah 8.15 civarı doğaüstü parlak bir beyaz ışığın üstteki bir pencereden içeri girdiğini ve bütün odayı aydınlattığını, kısa süre sonra gök gürültüsü gibi bir ses geldiğini hatırlıyor. Öğretmen onları sakinleştirmeye çalışmış, ama hepsi sınıf arkadaşlarından birinin işaret ettiği renkli, dev mantarı görünce heyecanlanmışlar. Sonra öğretmen onlara Japonya'nın yeni bir uçaksavar silahı icat ettiğini söylemiş. Bu onlara akla yatkın gelmiş, çünkü neredeyse her gün hava saldırısına uğruyorlarmış. Ama öğleden sonra radyodan ABD'nin bir süper bomba attığını duymuşlar ve hepsi yıkılmışlar. Kim, Hiroşima'da gördüklerini asla unutamayacağını söylüyor, büyük kısmını hiç anlatmıyor ve o zamandan beri oraya hiç gitmemiş. Şehir merkezine yaklaştıkça binaların önce giderek patlama merkezinden daha uzağa doğru eğildiğini, daha sonraysa tamamen dümdüz olduğu görülüyormuş. Yetkililer ceset yığınlarının üzerine benzin döküyor ve onları yakıyorlarmış. Teyzelerinden biri sıfır noktasının yakınındaki bina yıkılın-

ca anında ölmüş. Civardaki bir kuzeni patlamadan sağ kurtulmuş, ama bir ay içinde bütün saçını yitirmiş, çıldırmış ve ölmüş, bunlar ışınım hastalığının klasik belirtileridir. Başka bir kuzeni bomba patladığı anda bisikletle küçük bir köprüyü geçiyormuş ve aşağıdaki sığ suya uçup bayılmış. Kendine geldiğinde vücudunun yarısında güneş (ışınım) yanıkları olduğunu görmüş. Birkaç yıl sonra Kore'de bilinmeyen bir nedenle ölmüş. Bu hikâyenin özellikle dokunaklı bir sonu var; zira Kim, daha sonra saygıdeğer bir nötrino fizikçisi oldu ve bu konuda hâlâ yaygın olarak kullanılan mükemmel bir ders kitabı yazdı.¹⁵

Bu hikâyeyi anlatmamın amacı savaşın dehşetinde boğulmak değil, genç nesle, özellikle de oğullarıma kendi kendini kandırmanın sonuçları olduğunu nazikçe hatırlatmak. Çoğu zaman bu sonuçlar savaş kadar vahim olmaz, sadece kişinin hayat kalitesi düşer. Bu düşmeler sürücü öfkesi, boşanma davası ve aşırı uzun fakülte toplantılarını içerir.

Daha önemli konu, ideolojilerin keşfetmeye engel olmasıdır. Hepimiz dünyayı olduğu gibi değil, olmasını dilediğimiz gibi görürüz, çünkü bu bizim doğamızda vardır, ama bunun insan zihnindeki bir tasarım hatası olduğunu akılda tutmamız ve elimizden geldiğince ona direnmemiz gerekir. İdeolojilerin ötesini görmek ve onları çürütmek gerçek bilimin en önemli amacıdır. Aslında genel olarak zihinsel yaşamın en önemli amacıdır.

¹⁵ C. W. Kim, *Neutrinos in Physics and Astrophysics* (Harwood Academic, Londra, 1993).

(On)

UZAY-ZAMAN DOKUSU

Matematik biz onu yerine koyuncaya kadar mevcut değildir.

Sir Arthur Eddington

En kalıcı kültürel ikonlarımızdan biri olan Einstein'ın görelilik kuramı herkesin hakkında bir şeyler duyduğu, ama az sayıda insanın anladığı bir şeydir.¹ Mucidinin görüntüsü evrensel açıdan yüce bir zekâ ve bilgelik simgesi olarak dünya çapında tanınır. Halk, göreliliği yalnızca olağanüstü zihinsel kabiliyetle kutsanmış kişilerin idrak edebileceği bir tür derin gerçeklik olarak hayal eder.

Yaratılan bu uhrevi hava hem aşırı hem de hatalıdır. Göreliliğin özel görelilik adı verilen ilk hali aslında bir kanundur, hatta gayet basit bir kanundur, zira bir hareket denklemi değil o denklemin bir özelliğidir, bir simetridir. Göreliliğin en olgun biçimi bu kanunla gerekçelendirilen, Newton sonrası spekülâtif bir çekim kuramıdır.² Halkın göreliliğin fiziksel yönlerinden çok mistik yönleriyle ilgilendiğini kariyerinin ilk dönemlerinde keşfeden Einstein, hakkındaki kâhin imajının büyümesini teşvik etti, oysa o kâhin filan değil, çok keskin zekâyâ sahip bir profesyoneldir. Fakat Einstein'ın eserleri karakteristik olarak iyi düşünülmüş, dolaysız ve açıktır. Tıpkı hepimiz gibi o da hata yapıyor, ama nadiren hatalarını kavranması zor matematik denklemlerine gizliyordu.

¹ Göreliliğin iyi bir anlatımı çoğu temel üniversite seviyesi fizik metninde bulunur. İlk referans A. Einstein, *Ann. d. Physik* 17, 891'dir (1905).

² A. S. Eddington, *The Mathematical Theory of Relativity* (Cambridge University Press, Londra, 1965), s. 88.

Çoğu fizikçi Einstein kadar açık olmaya can atar, ama çok azı bunu başarır.

Simetri fizikte sık sık kötüye kullanılsa da önemli bir fikirdir.³ Simetrinin bir örneği yuvarlaklıktır. Bilardo topları yuvarlaktır, bu da tam olarak neden yapıldıklarını bilmeksin haklarında bazı tahminlerde bulunmaya, mesela bir ıstakayla vurulduğunda masa boyunca düz bir çizgi şeklinde hareket edeceklerini söylemeye imkân tanır. Ama yuvarlaklık hareket etmelerine *neden olmaz*. Bunu yapan altta yatan hareket kanunlarıdır. Yuvarlaklık yalnızca bilardo toplarını rastgele katı cisimlerden ayırt eden bir özelliktir ve hareketlerinin sıra dışı basitliği ve düzenliliğiyle açığa çıkar. Simetri özellikle altta yatan hareket denklemlerini bilmediğiniz ve eksik deneysel bilgilerden onları elde etmeye çalıştığınız durumlarda yararlıdır. Örneğin eğer bütün bilardo toplarının yuvarlak olduğunu bilseydiniz ve onların hareket denklemlerini tahmin etmeye çalışsaydınız, bazı tahminleri yuvarlak cisimlerin bunu yapamayacağı gerekçesiyle saf dışı bırakabilirdiniz. Çekirdek altı fizikte bu tür durumlar istisna değil kuraldır. Bu sebeple fizikte simetrilere ağır basan bir öncelik atfetme geleneği vardır, oysa bunlar aslında hareket denklemlerinin bir sonucu ya da özelliğidir.

Göreliliğin simetrisi hareketle ilgilidir.⁴ Einstein ve yirminci yüzyılın başındaki diğer bilim insanları elektrik ve manyetizma hakkında düşünerek bu simetriye ulaştılar. James Maxwell'in yeni çıkardığı elektrik ve manyetizma denklemleri sayesinde radyonun icadı hızla yaklaşıyordu. Dönme simetrisi, bilardo toplarının yuvarlak bir masadaki davranışının kişi çevrede nerede durursa dursun niteliksel olarak

³ Simetri hakkında yazmak eğlencelidir, bu yüzden bu konuda bir sürü iyi kitap vardır. Meslekten olmayanların anlayacağı iyi kitaplardan biri L. M. Lederman ve C. T. Hill, *Symmetry and the Beautiful Universe*'tür (Prometheus Books, Amherst, NY, 2004). İyi bir teknik metin ise J. Rosen, *Symmetry Discovered*'dir (Cambridge University Press, Londra, 1975). Ayrıca bkz. S. Coleman, *Aspects of Symmetry: Selected Erice Lectures* (Cambridge University Press, Londra, 1985).

⁴ R. P. Feynman vd, *Six Not-So-Easy Pieces, Einstein's Relativity, Symmetry, and Space-Time* (Perseus, New York, 1997).

aynı görünmesini gerektirir. Görelilik simetrisi ise davranışlarının kişi nasıl *hareket ederse* etsin aynı görünmesini gerektirir. Einstein'ın bir trendeki yolcunun başka bir trenin geçişini izlediği ünlü düşünce deneyi bu fikri mükemmel bir şekilde ortaya koyar. Einstein ideal sınırda –iki trenin uzay vakumunda birbirini geçtiği durumda– hiçbir ölçümün hangi trenin sabit olduğunu, hangisinin hareket ettiğini tespit edemeyeceğini öne sürdü. Hal böyleyken elektrik ve manyetizma denklemlerinin iki trende aynı görünmesi gerekcekti, bu yüzden ışık hızı da aynı olmalıydı. Ardından iki trendeki eşzamanlılık ve ölçümle ilgili bazı yaygın fikirler yanlış değilse mantıksal bir çelişkiyle karşı karşıya kalınır. Bu derin düşüncelerin hepsi ve onların büyüleyici mantıksal içerimleri, örneğin yüksek hızlarda hareket eden cisimlerin ağırlıklarının artması ve kütleyle enerjinin eşdeğerliği artık dünyanın dört bir yanındaki laboratuvarlarda rutin olarak doğrulanmaktadır ve tartışmasız gerçekler olarak tarihe geçmiştir.

Einstein'ın zaferinin hikâyesi öyle romantiktir ki, göreliliğin bir icat değil keşif olduğunu unutmak kolaydır. Görelilik elektrikle ilgili bazı ilk dönem gözlemlerine incelikli bir şekilde içkindi ve bu gözlemleri uyumlu bir bütün halinde sentezlemek için cesurca düşünmek gerekliydi. Ama bugün olsa öyle bir cesarete gerek olmazdı. Elinin altında modern bir hızlandırıcı olan saf bir deneyci daha ilk gün göreliliğin etkileriyle karşılaşacak ve bir ay içinde bütün göreliliği deneysel olarak anlayacaktır. Görelilik hiç de şoke edici değildir. Yerine geçtiği tartışmasız gibi görünen dünya görüşü sadece eksik ve hatalı gözlemlere dayanıyordu. Bütün gerçekler bilinseydi hiç tartışma olmazdı, dolayısıyla Einstein'ın ispatlaması gereken bir şey de olmazdı. Göreliliği insan zihninin yarattığı bir şey olarak gören popüler görüş, insanı harika bir şekilde ulvileştirse de sonuçta yanlıştır. Görelilik keşfedildi. Einstein'ın argümanları çok güzel olsa da, bugün göreliliğe inanmamızın sebebi doğru olmak zorunda olması değil, doğru olduğunun ölçülmüş olmasıdır.

Buna karşılık Einstein'ın çekim kuramı bir icattır ve la-

boratuvarda kaza eseri keşfedilmenin eşiğinde olan bir şey *değildir*. Hâlâ tartışmalıdır ve büyük ölçüde deneylerin erişimi dışındadır.⁵ Yaptığı en önemli öngörü, uzayın kendisinin dinamik olduğudur. Einstein'ın çekimi tarif etmek için öne sürdüğü denklemler bir lastik tabakası gibi elastik bir ortamınkilere benzerdir. Geleneksel çekim etkileri bir yıldız gibi büyük bir kütle bu ortamı statik olarak bozduğunda ortaya çıkar. Ancak iki yıldız sıkı bir yörüngede birbirinin çevresinde döndüğü zaman olduğu gibi kaynak hızla dalgalandığında, yeni bir etki olur: dışa doğru yayılan çekim dalgacıkları. Bu yüzden, geleneksel çekim su üzerinde yürüyen bir böceğin ayaklarının altındaki çukurlar gibi, kütleçekim ışıınımı da böceğin uçup gittiğinde oluşturduğu bozulmalar gibidir. Kütleçekim ışıınımı öngörüsünün doğru olduğuna dair birçok dolaylı kanıt vardır, bunların en güçlüsü de Joseph Taylor ve Russell Hulse'ın 1975'te keşfettikleri ünlü ikili pulsarın düzenli olarak azalan yörünge süresidir.⁶ Henüz doğrudan kanıt yoktur. Kütleçekim ışıınımını doğrudan tespit etmek modern deneysel fiziğin kilit amaçlarından biridir,⁷ ama çoğu fizikçi diğer kanıtlardan Einstein'ın çekim kuramının muhtemelen doğru olduğuna ikna olmuştur.

⁵ Genel göreliliğin en ünlü deneysel testi Newton tarzı çekime küçük statik düzeltmelerini, özellikle ışığın güneşi sıyrırken eğilmesini ve ilk kez Einstein'ın bizzat hesapladığı Merkür'ün günberisinin ilerlemesini içerir. Daha çağdaş bir test kısa süre önce uzaya gönderilmiş Gravity-Probe B deneyinin test ettiği jiroskop yalpalama etkisidir. *Bkz.* See R. A. Van Patten ve C. W. F. Everitt, *Phys. Rev. Lett.* 36, 629 (1976).

⁶ R. Hulse ve J. Taylor tarafından keşfedilmiş ikili pulsar PSR 1913+16 o kadar sıkı bir yörüngededir ki kütleçekim ışıınımı yayılımının etkileri ölçülebilir. Bu ölçüm Tayler ve Hulse'a 1993'te fizik dalında Nobel Ödülü kazandırmıştır. Bu pulsar saniyede 17 dönüş yapar (bu, 59 milisaniyelik bir periyoda karşılık gelir) ve 7,75 saatlik bir yörünge periyoduna sahiptir. Kütleçekim ışıınımının yayılımı nedeniyle günberisi yılda 4,2 derece ilerlemektedir. Yörünge yarıçapı 3 ışık saniyesi ya da bir milyon kilometredir. *Bkz.* J. H. Taylor, L. A. Fowler ve J. M. Weisberg, *Nature* 277, 437 (1979); J. M. Weisberg, J. H. Taylor ve L. A. Fowler, *Scientific American* 245, 74 (1981).

⁷ Kütleçekim dalgalarının ilk mekanik detektörlerinin yeterli duyarlılıktan yoksun olduğu anlaşıldı ve daha sonra ABD'de bunların yerini Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (Lazer Girişimölçer Kütleçekimsel Dalga Gözlem) projesi (LIGO) aldı. Bu projenin sonunda, astrofiziksel kaynakların ürettiği kütleçekim dalgalarını doğrudan tespit edeceği umulmaktadır. *Bkz.* <http://www.ligo.caltech.edu>

Einstein'ın en yaratıcı eseri olan genel görelilik kuramının, uzayı bir ortam olarak kavramsallaştırmaya indirgemesi, buna karşılık ilk önermesinde öyle bir malzemenin mevcut olmadığını ileri sürmesi ironiktir. Uzayın bir çeşit fiziksel madde olduğu fikri aslında çok eskidir, Yunan Stoacılarına uzanır ve onlar bunu esir diye adlandırmışlardır. Maxwell bugün kullandığımız elektromanyetizma tanımını icat ettiğinde zihninde kesinlikle esir vardı. O, elektrik ve manyetik alanlarını esirin yer değiştirmeleri ve akışları olarak hayal ediyordu ve onları tarif etmek için akışkanlar kuramının matematik denklemlerini aldı. Buna karşılık Einstein, esir fikrini tamamen reddediyor ve onun yokluğundan elektromanyetizma denklemlerinin göreliliği olması gerektiği çıkarımını yapıyordu. Ama aynı düşünce süreci sonunda başlangıçta reddettiği esir fikrine çıktı, fakat bu esirin sıradan elastik maddede olmayan bazı özel özellikleri vardı.

"Esir" sözcüğünün geçmişte göreliliğe karşı çıkmakla ilişkilendirilmiş olması nedeniyle kuramsal fizikte son derece olumsuz çağrışımları vardır. Bu talihsiz bir durumdur, çünkü esir bu çağrışımlardan soyutlandığında çoğu fizikçinin vakum hakkında aslında düşündüklerini gayet güzel bir şekilde temsil eder. Göreliliğin ilk zamanlarında, ışığın *bir şeyin* dalgaları olması gerektiği inancı o kadar güçlüydü ki, Einstein yaygın bir şekilde reddedildi.⁸ Michelson ile Morley dünyanın esirin içindeki yörünge hareketinin tespit edilemediğini gösterdiklerinde bile muhalifler dünyanın beraberinde bir esir zarfı sürüklüyor olması gerektiğini, çünkü göreliliğin çılgınlık olduğunu ve doğru olamayacağını öne sürdüler. Bu muhalefetin şiddeti, sonradan, göreliliğe Nobel Ödülü verilmemesi gibi utanılacak bir sonuç ortaya çıkardı. (Einstein sonradan bir Nobel aldı, ama başka bir çalışmasıyla.) Görelilik aslında evrene hâkim maddenin varlığı ya da yokluğuyla ilgili hiçbir şey söylemez, sadece

⁸ Albert Einstein'ın ilk makaleleri çok sıkı bir şekilde gerekçelendirilmiş oldukları için kısmen iyi anlaşılabilir. Edison'a Einstein'ın fikirleri hakkındaki düşünceleri sorulduğunda hiçbirini anlamadığını ve onlarda bir kâr göremediğini söylediği rivayet edilir. Bkz. <http://www.patentless.com/Warp%20speed.htm>

öyle bir maddenin görelilik simetrisine sahip olması gerektiğini söyler.

Öyle bir maddenin var olduğu ortaya çıktı. Göreliliğin kabul edilmesiyle aynı zamanlarda radyoaktivite araştırmaları uzayın boş vakumunun sıradan kuantum katılarının ve akışkanlarınıninkine benzer bir spektroskopik yapısının olduğunu göstermeye başladı. Daha sonra büyük parçacık hızlandırıcılarıyla yapılan çalışmalar uzayın ideal Newton tarzı boşluktan çok bir pencere camı parçası gibi olduğunu anlamamızı sağladı. Uzay normalde saydam olan ama yeterince sert vurup bir parçasını yıkarak görünür hale getirilebilen "zımbırtı" ile doludur. Her gün deneylerle onaylanan modern uzay vakumu kavramı görelilik esiridir. Ama ona böyle demeyiz, çünkü tabudur.

Einstein'ın uzayın bir ortam olduğu sonucuna varış şekli çok etkileyici bir hikâyedir. Başlangıç noktası eşdeğerlik ilkesi, yani kütleleri ne olursa olsun bütün cisimlerin kütleçekimin çekimine aynı hızda yakalandıkları gözlemiydi. Bu, yakın dünya yörüngesindeki astronotların ağırlıksızlığı yaşamasının nedenidir. Kütleçekimin çekimi düşük yörünge de dünyaya göre önemli ölçüde az değildir, ama bu kütleçekimin etkisi sadece onların ve uzay araçlarının dünyanın çevresinde birlikte düşmesine yol açmaktır. Einstein bu etkiden (daha doğrusu hiç astronotun olmadığı 1905'te hayal ettiği versiyonlarından) kütleçekim kuvvetinin doğası gereği kurmaca olduğu, zira gözlemci ve hemen çevresindeki şeyler serbest düşürüldüğünde kapatılabildiği çıkarımını yaptı. Dünya gibi yakındaki devasa bir kütlenin önemli etkisi kütleçekim kuvvetleri oluşturmak değil, serbest düşüş yollarını kesiştirmektir. Dosdoğru dünyaya düşen astronotlar (talihsiz bir deney) başlangıçta derin uzayda olduklarını zannedebilirler, ama bir süre sonra onlarla birlikte yol alan cisimlerin yavaşça yaklaştığını fark edeceklerdir. Bunun nedeni, yakındaki bütün serbest düşüş yollarının dünyanın merkezine doğru yönlendirilmesi ve sonunda orada birleşmesidir. Einstein; bu etkiyle, boylam çizgilerinin kuzey-güney kutuplarında yakınsaması arasındaki benzerliğe hayran

kalmıştı. O durumda, bazı düz çizgi yollarının yakınsama eğilimi geleneksel maddeden yapılmış bir ortam olan dünyanın eğriliğinin bir sonucudur. Ardından bugün bile nefesimizi kesen bir içgörü parlamasıyla serbest düşüş yollarının aslında daha yüksek boyutlu bir yüzeydeki boylam çizgileri olduğu ve çekimin oluşmasının sebebinin büyük kütlelerin bu yüzeyi gererek eğrilmesine yol açmaları olduğu tahminini yürüttü. Sonra bugün Einstein alan denklemleri olarak bildiğimiz, kütleyle eğrilik arasındaki özel ilişkiyle ilgili ikinci bir ustalık tahmin yürüttü. Bu denklemler görelilikle ilgilidirler, bu yüzden de göreliliğin ilk halindeki eşzamanlılık paradokslarının aynısını içerirler. Bu sebeple, daha doğru olarak gerilim-enerji ve dört boyutlu uzay zamanın eğriliği arasında bir ilişki şeklinde tanımlanırlar. Bu denklemlerin yaptığı uzayın gerilmeye ek olarak dalgalanabildiği öngörüsü, uzayın bir hareket simetrisi olan göreliliğe uymasının bir sonucudur. Fakat bu, fiziksel sezgimizle tutarlıdır, çünkü temelde bir depremin oluşturduğu, dünyanın yüzeyinde yayılan bir sismik dalgayla aynı şeydir.

Genel göreliliğin felsefesiyle aslında söylediği şey arasındaki çarpışma fizikçiler tarafından asla giderilememiştir, bu da bazen meseleye Kafkavari bir hava katar. Bir yanda göreliliğin başarısından güç alan, uzayın içinde hareket eden maddeden temel olarak farklı bir şey olduğu ve dolayısıyla sıradan şeylerle benzerlik kurularak anlaşılamayacağı görüşü vardır. Diğer yanda Einstein tarzı çekimle gerçek yüzeylerin dinamik çarpılması arasındaki açık benzerlikler vardır, bunlar da bizi uzay-zamanı bir *doku* olarak tanımlamaya sevk eder. Zeki genç öğrenciler kaçınılmaz olarak bunu hemen kavrar ve hocaya kütleçekim ışınlamayı yayıldığında hareket edenin ne olduğunu sorarlar. Bu öğrenciler uzay-zamanın kendisinin yayıldığı cevabını alır ve afallarlar. Bu, denizin yüzeyinin dalgalanmasının nedeninin, dalgalanan bir yüzey olması olduğunu öğrenmek gibidir.⁹ Akıllı öğrenciler bu soruyu ikinci bir sefer sormazlar.

⁹ Ya da Molière'in bir uyku iksirinin "uyuşuklaştırıcı özellikleri" nedeniyle işe yaradığını söyleyen ünlü örneği gibi.

Ama bu merakları ne naif ne de uygunsuzdur. Genel göreliliğin dolabında kozmolojik sabit adı verilen korkunç bir iskelet vardır. Bu Einstein alan denklemlerine yapılmış, görelilikle uyumlu olan ve fiziksel anlamı görelilik esirinin düzgün kütle yoğunluğuna sahip olması olan bir düzeltmedir. Einstein, başlangıçta görünüşe göre böyle bir etki olmadığı gerekçesiyle, bu sabiti sıfır olarak belirlemişti. Bilindiği kadarıyla vakum gerçekten boştu. Sonra tersini gösteren kozmolojik gözlemlere yanıt olarak ona küçük bir sıfır olmayan değer atadı, sonra gözlemler iyileştikçe sabiti yine kaldırdı. Astrofiziksel mesafeleri ölçmek için süpernovalar kullanan yeni bir tekniğin geliştirilmesi nedeniyle sıfır olmayan bir değer yine moda oldu.¹⁰ Fakat bu ayarlamaların hiçbirisi daha derinde yatan sorunu gidermez. Radyoaktivite ve kozmik ışıınım hakkında bildiklerimiz düşündüğünde, kozmolojik sabitin muazzam derecede büyük-sıradan maddenin yoğunluğundan çok daha büyük- olmaması için düşünülebilen hiçbir sebep yoktur. Sabitin bu kadar küçük olması, çekimle evrene hâkim görelilik maddesi arasında henüz anlamadığımız gizemli, temel bir ilişki olduğunu gösterir, çünkü bunun alternatifi inanılmaz bir mucizeyi gerektirir.

Uzay-zamana madde gibi özellikleri olan, ama madde olmayan bir şey olarak bakılması ne mantıklı, ne de gerçeklerle tutarlıdır. Onun yerine göreliliğin geçerliliğine dair eski mücadelelerden ortaya çıkmış bir ideolojidir. Çekirdeğinde göreliliğin simetrisinin mutlak olması bakımından bütün diğer simetrilerden farklı olduğu inancı vardır. Bu simetri ne kadar küçük olursa olsun hiçbir uzunluk ölçeğinde hiçbir sebeple, altta yatan denklemlerin hiç tespit edilmediği rejimlerde dahi ihlal edilemez. Bu inanç doğru olabilir, ama müthiş bir spekülasyon sıçramadır. Ay halkının benzer bir akıl yürütmeyle en zeki öğrencilerini dünyanın neden yapıldığını

¹⁰ Mükemmel bir değerlendirme için bkz. S. Perlmutter, Supernovae, Dark Energy, and the Accelerating Universe, *Physics Today*, Nisan 2003, s. 53. Ayrıca bkz. S. Perlmutter vd., *Nature* 391, 51 (1998).

sordukları için azarladıkları ve dünyanın yuvarlaklığının bu soruyu tartışmalı kıldığını söyledikleri hayal edilebilir. Bu açıkça haksızlık olacaktır, çünkü dünya mutlak olarak değil, sadece yaklaşık olarak yuvarlaktır. Çıplak gözün aydan kolayca ayırt edebileceğinden daha küçük ölçeklerde Büyük Kanyon, Pamir, Aconcagua ve Kilimanjaro gibi sorun yaratan küçük ayrıntılar vardır. Gözlem teknolojisindeki ilerlemeler sonradan öğrencileri, en azından kafa tutmaya devam edenleri aklayacaktır. Dünyanın kusursuz biçimde yuvarlak olmadığı, dahası onu oluşturan kayaların yeraltındaki yüksek basınçlarda plastik hale gelmesi, bu yüzden de yüzeydeki büyük cisimlerin yavaşça batması *nedeniyle* yaklaşık olarak yuvarlak olduğu keşfedilecektir.

Mutlak simetri fikri artık bu disiplinin içine gömülmüş olmasına rağmen, mantıklı değildir. Simetriler bir şeylerden *kaynaklanırlar*, ama bir şeylerin *kaynağı* değildirler. Eğer görelilik *her zaman* doğruysa, o halde bunun altta yatan bir sebebinin olması gerekir. Bu sorundan sıyrılma girişimleri kaçınılmaz olarak çelişkilerle sonuçlanır. Böylece vakumun spektroskopisini tanımlayan görelilik denklemleri yazmaya çalışırsak ya göreliliğin ya da aynı derecede önemli bir simetri olan ölçeğin değişmezliğinin son derece kısa mesafelerde geçersiz olduğu varsayılmadığı sürece denklemlerin matematiksel saçmalıktan ibaret olduğunu keşfederiz. Bu soruna pratik bir çözüm bulunamamıştır. Başlangıçta bu amaçla icat edilmiş olan sicim kuramı başarılı olamadı. Daha yüksek boyutlara yönelik efsanevi iştahına ek olarak, onun da kısa mesafe ölçeklerinde daha incelikli de olsa yine sorunları vardır ve asla deneylerle uyumluluğun gerektirdiği gibi uzun mesafe ölçeklerinde standart modele dönüştüğü gösterilememiştir.

Dolayısıyla uzay vakumunun boş olduğuna dair masum gözlem hiç de masum değil, ışıkla çekimin bağlantılı olduğunu ve muhtemelen ikisinin de toplu bir doğasının olduğunu gösteren ikna edici bir kanıttır. Gerçek kuantum mekaniksel ses gibi gerçek ışık da buz gibi olduğu zaman

bile enerji içermesiyle idealize edilmiş Newton tarzı muadilinden ayrılır. Görelilik ilkesine göre bu enerji kütle üretmeli, o da çekim üretmeliydi. Neden üretmediği konusunda hiçbir fikrimiz yok, bu yüzden bir hükümetin yapabileceği gibi başa çıkıyor, yani basitçe boş uzayın çekime kapılmadığını beyan ederek geçiştiriyoruz. Bu küstahlık bakımından Indiana eyaleti yasama meclisinin π 'nin değerinin üç olduğunu ilan eden bir kanun çıkarmasıyla aynı mertebededir.¹¹ Ayrıca sorunun ciddiyetini gösterir, zira makul alternatifler var olduğunda böyle çaresizce önlemlere başvurulmaz. Çekim paradoksunu mikroskobik olarak açıklama arzusu aynı zamanda bilinen her temel parçacığa özel, tamamlayıcı bir eşlenik atayan bir matematiksel yapı olan süpersimetrinin icadı için de motivasyon olmuştur.¹² Doğada bir süper eşlenik keşfedilse, uzayın boşluğu için indirgemeci bir açıklamaya dair umut yeniden yeşerebilirdi, ama bu olmamıştır; en azından henüz değil.

Einstein bugün hayatta olsaydı gelinek nokta onu deşete düşürürdü. Fizikçileri bu karışık durumun ortaya çıkmasına izin verdikleri için azarlar ve güzel yaratılarının ideolojilere dönüştürülmesi ve sonuçta mantıksal tutarsızlıkların yayılması yüzünden öfkeden gözü kararırdı. Einstein bir sanatçı ve âlimdi, ama hepsinden önemlisi devrimciydi. Fiziğe yaklaşımı minimum seviyede varsayımda bulunmak, deneylere asla karşı çıkmamak, tam mantıksal tutarlılık talep etmek ve doğrulanmamış inançlara güvenmemek olarak özetlenebilir. Onun zamanının doğrulanmamış inancı esir, daha doğrusu esirin görelilikten önceki naif

¹¹ Bu ünlü hikâye aslında gerçektir. Böyle bir kanun kabul edilmemiştir. Hikâye Indiana'nın Solitude kentinden Edwin J. Goodman'ın teklif ettiği 1897 tarihli 246 numaralı yasama organı kanun tasarısını konu alır. Bu tasarı π 'nin 3 olduğunu değil, duruma göre birkaç değerden biri olduğunu beyan ediyordu. Eyalet Meclisi tarafından oybirliğiyle kabul edildi, ama Senatoda reddedildi. Bkz. U. Dudley, *Mathematical Cranks* (Math. Assn. Am., Washington, D.C., 1992).

¹² Süpersimetriye iyi bir genel bakış için bkz. S. Weinberg, *Quantum Theory of Fields, Vol. 3: Supersymmetry* (Cambridge, University Press, Londra, 2000).

haliydi. Günümüzün doğrulanmamış inancı ise göreliliğin kendisidir. Gerçekleri yeniden incelemek, zihninde evirip çevirmek ve çok sevdiği görelilik ilkesinin temel nitelikte olmayıp belirdiğini, uzay-zamanı oluşturan maddenin uzun mesafe ölçeklerinde gittikçe kesinleşen, ama kısa ölçeklerde başarısız olan toplu bir özelliği olduğu sonucuna varmak tam ona göre bir davranış olurdu. Bu, ilk fikrinden farklı bir fikirdir, ama mantıksal olarak onunla tamamen uyumludur, ayrıca daha heyecan verici ve potansiyel olarak önemlidir. Bu, uzay-zaman dokusunun sadece hayatın gerçekleştiği sahne değil, örgütsel bir olgu olduğu ve daha ötede bir şey olabileceği anlamına gelecektir.

(On Bir)

BİBLOLARIN KARNAVALI

Ya bu maceranın geleceği? En sonunda ne olacak? Kanunları tahmin ederek devam ediyoruz; kaç adet kanunu tahmin etmemiz gerekecek? Bilmiyorum. Bazı meslektaşlarım branşımızın bu temel özelliğinin süreceğini söylüyor; ama ben kesinlikle örneğin bin yıl boyunca sürekli yenilik olacağını düşünmüyorum. Bu durum devam edemez, sürekli yeni kanunlar keşfedemeyiz. Eğer edersek, birbirinin altında o kadar çok seviye olması sıkıcı hale gelecektir. Bana öyle geliyor ki, gelecekte ya bütün kanunlar bilinir hale gelecek (yani eğer yeterince kanun olsaydı sonuçları hesaplayabilirdiniz ve bunlar hep deneylerle uyumlu olurdu, bu da yolun sonu olurdu) ya da deneyleri yapmak giderek zorlaşacak ve pahalılaşacak, bu yüzden olguların yüzde 99,9'unu anlayacağız, ama her zaman yeni keşfedilmiş, ölçülmesi zor ve uyumsuz olan bir olgu olacak ve onun açıklamasını bulduğunuz zaman da hep bir başka olgu olacak ve gelişme giderek yavaşlayacak ve sıkıcı bir hale gelecektir. Bu da yolun sonu için bir başka alternatiftir. Ama o ya da bu şekilde sona ermesi gerektiğini düşünüyorum.

Richard P. Feynman

Doğadaki birçok şey kendi kendini bir araya getirir. İyi ki de bunu yaparlar, zira her ne kadar biz bilim insanları kendimizi giderek zekileşen moleküler mimarlar olarak tanıtsak da, aslında daha çok araziye silip süpüren, müthiş boyutlarda kargaşa yaratan ve kaza eseri arkalarında birkaç ilginç yapı bırakan büyük Oklahoma kasırgalarına benzeriz. Kişinin, doğal kendi kendine bir araya gelmeyi oluştururken ve

izlerken duyduğu gurur, biraz, bir babanın çocuğunun futbol sahasında üstün oynamasını izlerken duyduğu gururu andırır. Gerçekten sahadaki "benim oğlum"dur, ama aslında amatörce, beceriksizce ve sonucu kesin bilinmeksizin yapılmıştır. Deneysel koşulların tamamen aynı, ama sonucun farklı olduğu girişimler olmuştur. Johnny'nin sahada üstün oynamasının gerçek sebebi doğasında öyle yapmanın olmasıdır. Ben sahneyi hazırlamışımdır, ama temel şeyleri o kendi başına yapmıştır.

Uzun yıllar önce Stanford'da fakülte kadrosuna katıldığım da kendi kendini bir araya getirme konusunda hatırla kalıcı bir ders aldım. Daha önce konunun temellerini öğrenmiştim, ama çoğu fizikçi gibi ben de çok önemli olan bir konuda, şu meşhur kimyada fena halde eğitimsizdim. Yeni işime başladığımda bu tamamen değişti. Görevlerim arasında bağlı olduğum malzeme laboratuvarının yıllık disiplinler arası teknik değerlendirmesine katılmak da vardı. Bu bayağı aklımı başıma getiren, ama aynı zamanda son derece de değerli bir tecrübe oldu, çünkü beni hazırdaki uzmanlık alanımın dışındaki faaliyetlere maruz bıraktı, bu da araştırma için yeni fikirler edinmeye doğru ilk adımdı.

Katıldığım ilk değerlendirmenin gün boyu süren programının ortalarında elektron mikroskobu uzmanımızın sunumunu izledim ve resmen şoke oldum. Bu kişinin işi, malzemelerin (çoğunlukla yerel olarak başka amaçlarla üretilen inorganik kristallerin) yüzeylerinin sıradan ışık mikroskoplarının çözünürlük sınırlarının hemen altındaki bir ölçekte, yani yirmi-otuz atomdan birkaç bin atoma kadar ölçekte (aynı zamanda hayatın mekanizmasının büyük bölümünün de işlediği ölçek) resimlerini çekmekti. Sunumu teknik bir seminerden çok Escalante Merdiveni ya da Tibet'in Himalaya dağı yamaçlarını konu alan bir *National Geographic* belgeseli gibiydi. Arka arkaya hepsi birbirinden hayret verici farklı farklı topografyalar gösterdi. Önce pürüzlü kanyonlar ve kesin dikey düşüşleri uçurumları gölgeleyen ve karışık kubbeli mağara sistemlerini açığa çıkaran

zirvelerle vurgulanmış katmanlı platolar, ardından camsı pürüzsüz bir düzlük üzerinde kusursuz şekilli piramit şeklinde adalardan oluşan, bir Salvador Dali tablosunda ya da *The Matrix*'te bulunabilecek türden çılgınca, soyut bir Gize piramidi oluşturan takımadalar geldi. Sonra göl benzeri çukurların kenarlarındaki saplara dikilmiş grotesk yaratık heykelcikleri, gölcükler aramak için New England'a doğru inen başka bir gezegenden gelmiş susamış karnabahar yaratıkları gösterdi. Ondan sonra Aspen ya da Katmandu'nun üzerinden uçarken görebileceğinize benzeyen, zirvelerinde karı andıran tuhaf şapkalar bulunan heybetli ve nefes kesici bir dağ sırası manzarası geldi. Gösteri böyle devam etti ve bende kesinlikle bir dâhinin huzurunda olduğuma dair güçlü bir izlenim bıraktı, çünkü benim mesleğimdeki kimse böyle harikalar keşfetmemiştir.

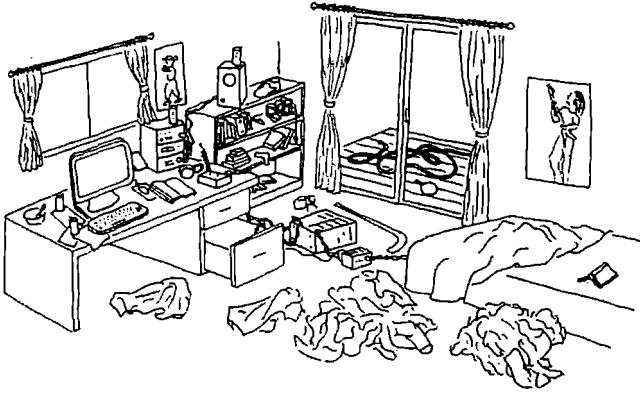
Fakat diğer her şeyde de olduğu gibi bilimde de heyecan verici bir yatırım fırsatını kaçırmak gizli bir lütuf olabilir. Bu değerlendirme sırasında akademik sorumluluklarım bütün zamanımı alıyordu, bu yüzden de istediğim gibi her şeyi bir kenara bırakıp bu muhteşem etkileri açıklayacak kuramlar oluşturmaya girişemedim. Aradan bir yıl geçti. Bir başka değerlendirme yaptık ve elektron mikroskobu uzmanı yine ardı ardına hepsi öncekinden farklı ve hepsi aynı derecede inanılmaz olan çarpıcı resimler gösterdi. O anda kafama dank etti. Bu kişi makineye nasıl örnek koyulacağı dışında hiçbir şey keşfetmemiştir. Elektron mikroskobunda görünür olan ölçekte *her* yüzey ilginç görünüyordu. Nasıl güney Utah'ın sıkıcı bir fotoğrafını çekmek için büyük bir yetenek gerekirse, bir yüzeyin sıkıcı bir elektron mikrografını çekmek için de büyük bir yetenek gerekiyordu. Altta yatan kurallara ne kadar eksiksiz bir şekilde hâkim olursak olalım, bu büyüklük ölçeğinde cansız dünyada birçoğu kristal büyümesi süreciyle ilişkili ve tamamı gayet tahmin edilemez olan güçlü ve sofistike kendi kendini örgütlenme ilkeleri iş başındaydı.

Bunun gibi yapıları ilk defa görmek, katı bir indirgemecinin bile duraksayıp onların temel kuantum mekaniği dışında

başka bir aktörden kaynaklanıp kaynaklanmadığını merak etmesine neden olur. Sıralı atom kristallerini basit mikroskobik kurallarla açıklamak bir şey, bunu karmaşık, canlı gibi yapılar ve şekillerle yapmak bambaşka bir şeydir, özellikle de ilk prensiplerden bu şekillerin ortaya çıkacağı çıkarımını yapamadığınızda. Ama bu yaygın ve tamamen makul bakış açısı kesinlikle çağıdır. Devasa sayıda parçası olan bir dünyada sıra dışı şey karmaşıklık değil, onun yokluğudur. Fizikte basitlik her sapmanın endişe verici bir anormallik olduğu matematiksel olarak bariz bir durum değil, beliren bir olgudur.

Karmaşık sözcüğü yerine *rastgeleyi* koyarsanız bu iddiayı açıklamak ve savunmak biraz daha kolaylaşır. Böylece bir zar atarsınız ve rastgele bir şekilde üç sayısı gelir. Bu önerme, önceden zarın hangi yüzünün geleceğini bilmediğiniz, bunun öngörülemez bir şey olduğu ve öngörülemezlik derecesinin olası sonuçların sayısıyla, bu durumda altıyla ölçüldüğü anlamına gelir. Bir kere seçildikten sonra üç sayısının rastgele hiçbir yönü yoktur. Herhangi bir özel zar yüzünün "rastgele" olması mantıklı değildir. Benzer biçimde, yalıtılmış bir şeklin "rastgele" olması da mantıklı değildir. Yalnızca fiziksel bir süreç olan birçok şekil arasından birinin seçilmesi karmaşık olabilir. Bir şeklin karmaşık olduğunu söylediğimizde, gerçekte oluşmasına neden olan fiziksel sürecin dengesiz olduğunu ve hafif bir dürtmeyle birçok farklı şekilden birini üretebileceğini demek isteriz. Benzer biçimde, eğer bir şeklin bir fiziksel süreç tarafından hayli şiddetle dürtüldüğünde bile her seferinde oluşturulması garantiye onun basit olduğunu söyleriz.

Doğada basitliğin kural değil istisna olduğunu anladığınız zaman, mikroskobik koşullar uygun olduğunda hayat benzeri desenlerin ortaya çıkabileceğini hayal etmek kolay hale gelir. Ortaya çıktıklarını *hayal etmek* mümkün değildir, ama ortaya çıkmalarının mantıklı olduğunu ve sağduyuyu ihlal etmediğini kanıtlamak mümkündür.



Hayat benzeri desenlerin ortaya çıkabileceğini hayal etmek kolay hale gelir.

Bunu matematiğin 1970'lerde doğmuş, kaos, fraktallar ve hücrel otomatlar konularını kapsayan bir branşı olan karmaşıklık kuramı vasıtasıyla yapılır.¹ Karmaşıklık kuramının stratejisi, maddenin hareketi denklemlerini bir bilgisayar tarafından güvenilir biçimde çözümlerine imkân tanıyacak şekilde sadeleştirip soyutlamaktır. Ancak bu soyutlama şeytanla bir anlaşmadır, zira sonuçta oluşan denklemler olayları o kadar grotesk bir şekilde çarpıtır ki artık doğanın aslına uygun bir temsili olmaz. Bu yüzden de karmaşıklık kuramının değeri karmaşık desenlerin ortaya çıkmasının makul olduğunu göstermekle sınırlıdır. Kuram herhangi bir doğal olgunun öngörüselle modellerini sağlayamaz ve kesinlikle yeni bir düşünme tarzı değildir.²

¹ Fraktallarla ilgili iyi bir kitap G. W. Flake, *The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems and Adaptation*'dır (MIT Press, Cambridge, 1998). Ayrıca bkz. B. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature* (W. H. Freeman, New York, 1982). İnternette birçok fraktan salati vardır. Örneğin bkz. <http://pages.globetrotter.net/mdessureault/vent.htm> and <http://www.fractalus.com/galleries/home>.

² Stephen Wolfram yeni bir bilim türü olduğuna o kadar çok inanıyordu ki kendi kitabını yayınladı: S. Wolfram, *A New Kind of Science* (Wolfram Research, Champaign, IL, 2002). Ayrıca bkz. S. Wolfram, *Nature* 311, 419 (1984).

Böyle bir modelin basit bir örneği, dağ sırası fraktalıdır.³ Bilgisayarla işlenmiş bir harita ızgarası tekrar tekrar geliştirilir ve her seferinde yeni ızgara noktasına eski bitişik yüksekliklerin ortalaması artı geliştirme ilerledikçe giderek küçülen rastgele bir artış olan hayali bir yükseklik atanır. Böylece üretilen yükseklikler gerçek dağ sıralarının görünümünü o kadar etkili bir şekilde taklit ederler ki sık sık filmlerde arka planlar üretmek için kullanılırlar, tıpkı yakın akrabaları fraktal bulut, fraktal sahil şeridi ve fraktal sebze (brokoli) gibi. Dağ fraktalının taklit ettiği fiziksel süreç muhtemelen yukarıdan içeri nüfuz eden atomun ilk çarptığı yere tutunduğu, böylece büyük yapıların küçük yapıları gölgede bırakarak onlar pahasına büyümesini teşvik eden bir yüzey büyümesi süreci olan yığılımdır. Nüfuzla sınırlanmış yığılımayla ilgili büyük literatür kışın bazen pencere camlarında oluşan yapraksı buz kristallerini andıran bilgisayarda üretilmiş çok güzel desenleri içerir.⁴

Bir başka karmaşıklık modeli –ilk keşfedilmiş model olduğu için efsanevi olan– John Conway’ın *Life (Hayat)* isimli bilgisayar programıdır. İlk olarak Martin Gardner’in *Scientific American*’daki “Mathematical Games” (Matematik Oyunları) köşesinin popülerlik kazandırdığı hücresel bir otomat olan *Life*, taşlarla dolu bir dama tahtasından oluşur.⁵ Bu

³ Fraktal yapıların ardındaki temel fikir kendi kendine benzerliktir. Bkz. M. Ausloos ve D. H. Berman, *Proc. Roy. Soc. (London)* A 400, 331 (1985). Fraktal dağlar için en iyi referanslar internettedir. Bkz. <http://www.skytopia.com/gallery/mountains/mountains.html>. Fraktal dağların yapılışıyla ilgili iyi bir açıklama şurada bulunabilir: <http://www.mactech.com/articles/mactech/mactech/Vol.07/07.05/FractalMountains/>. Fraktal sahil şeritleri şurada açıklanır: <http://polymer.bu.edu/ogaf/html/cp2.htm>.

⁴ Nüfuzla sınırlanmış yığılımaya en iyi genel bakış T. C. Halsey, *Physics Today* 53, 36’dır (Kasım 2000). İlk referans T. A. Witten, Jr. ve L. M. Sander, *Phys. Rev. Lett.* 47, 1400’dür (1981); Ayrıca bkz. P. Meakin, *Phys. Rev. A* 27, 1495 (1983).

⁵ Bkz. M. Gardner, *Wheels, Life, and Other Mathematical Amusements* (W. H. Freeman, New York, 1983). İlk referans M. Gardner, *Scientific American* 223, 120’dür (Ekim 1970). Ayrıca bkz. E. R. Berlekamp, J. H. Conway ve R. K. Gray, *Winning Ways for Your Mathematical Plays, II: Games in Particular* (Academic Press, Burlington, MA, 1982); ve J. Conway, *On Numbers and Games* (Academic Press, Burlington, MA, 1976). İnternette Conway’ın *Life* ile ilgili çok fazla miktarda materyal vardır. Başlamak

taşlar hayali bir saatin her tıklamasında aşağıdaki iki kurala göre ya tahtadan çıkarılır (ölüm) ya da tahtaya eklenir (doğum):

1. Bir taş bitişiğindeki sekiz yerin iki ya da üçünde başka taşlar yoksa ölür.
2. Boş bir yerin bitişiğindeki sekiz yerden tam olarak üçünde başka taşlar varsa o yerde bir taş doğar.

Life'ın taşları katı kristallerden küçük canlı yaratıklara kadar çok çeşitli doğal olguları andıran, onları inceleyen büyük meraklı topluluğunun garip isimler verdiği desenler üretir. Böylece tavuk teli ya da soğan halkaları gibi dengeli yer dolduran kristalli desenler, tavşanlar ve inekler gibi küçük yalıtılmış molekül desenleri, işaret lambaları ve kurbağalar gibi çevrimli desenler, balon balıkları ve ejderler gibi düz çizgide hareket eden desenler, reflektörler ve yiyiciler gibi diğer desenlere müdahale eden desenler ve kaideler, fümeroller, taraklar, kupa kancaları, arı kovanları, çoğaltıcılar, volkanlar, uçak taşıyıcıları ve Fransız öpücükleri gibi karmaşık yüksek organizmalar içeren bütün bir hayvanat bahçesi karşınıza çıkar.

Hem fiziksel kendi kendini örgütlenme hem de onu taklit eden otomatlar ilginçtir. Bunun tam nedenini belirlemek çoğu zaman güçtür, ama iki kuru ve aşırı entelektüel açıklama devletlerin çok hoşuna gitmiştir ve teknik raporlarda ve hibe tekliflerinde çok fazla kere kullanılmıştır. Bunlardan birincisi nasıl olup da atomik ufak ayrıntılardan hayatın ortaya çıkabileceğini, nasıl olup da birkaç kimyasal bir araya getirdiğinizde karşınıza sizi seven bir yavru köpek çıkabileceğini merak ettiğimizdir. Diğeri, pratik kullanım için yeni türde kullanışlı cihaz ve ürünler, örneğin iğrenç kokular için erken uyarı sensörleri ya da artık muz kabuklarını benzine çeviren makineler tasarlamayı hayal etmemizdir. Hayatı da taklit eden ya da kendi kendini bir araya getiren robotlar, bir

için bir site şudur: <http://www.radicaleye.com/lifepage>. Ayrıca bkz. <http://www.argentum.freeseve.co.uk/lex.htm>.

kanser tedavisi ya da uzvunu kaybetmiş insanlar için yeni uzuvlar gibi sağlıksal etkileri olan cihazlar aramak şeklinde örneklerle iki açıklama bir araya getirildiğinde bu argüman daha da keskinleşir.

Elbette ilgimizin *gerçek* kaynağı bunların ikisi de değil, doğuştan biblolarla bağımlı olmamızdır. Hepimizde "ilginç" şeyleri yararsız oldukları hallerde bile toplamaya yönelik güçlü bir içgüdü vardır. Bu etki Antibes ve Sausalito'daki hediyelik eşya dükkânlarının cilalanmış taş parçaları kumsalda da bulunabileceği ve cilalandığında hoş görünmeyen bir taş bulmak büyük yetenek gerektirdiği halde bunları satarak kâr edebilmelerini sağlar. Ayrıca birçoğumuzun okumadığımız kitaplarla dolu kişisel kütüphaneleri, Marge Teyze'nin Büyük Kanyonda çektiği, asla bakmadığımız eski fotoğraflarla dolu kocaman kutuları ve arabanın sığmasını engelleyecek kadar fazla ıvır zıvırla dolu garajları olması da aynı sebeptendir. Imelda Marcos'un bütün o ayakkabılara sahip olmasının nedeni de oydu. Ayrıca dünya çapındaki yeni ve tuhaf bir fenomenin, Dev Noel Mağazasının bütün iş planının kaynağıdır: Bunlar tavana kadar parıl parıl ışıklarla, bebeklerle, odun kesen küçük robot adamlarla, plastik karla çevrelenmiş Black Forest marka plastik köknarlarla, küçük atlıkarınca kutularıyla, küçük sandalyelerle, küçük saksa-fonlarla, küçük İngiliz kule muhafızlarıyla, küçük koyunlarla, küçük kuyruklu piyanolarla, küçük kırmızı cam toplanlarla, büyük kırmızı cam toplanlarla, mavi cam toplanlarla, altın rengi cam toplanlarla, cafcaslı Rus yumurtası cam toplanlarıyla, içinde minyatür elektrikli tren setleri olan cam toplanlarla, İsa Heykelcikleri Odasıyla, Müzik Kutuları Odasıyla, Melekler Odasıyla, Guguklu Saatler Odasıyla tıka basa dolu üç katı ve bütün önemli kredi kartlarının geçtiği bir kasası olan, Temmuz ayında bile arka planda tekrar tekrar "Silent Night" şarkısının çaldığı mağazalardır. Geçen Kasımda Japonya'dayken otel lobilerinde Noel ağaçları gördüğümde ve asansörlerde Noel şarkılarının çalındığını duyduğumda bu fenomenin tamamen kontrolden çıktığını anladım. Adaletsiz bir şekilde girişimci Hristiyanları hedef almakla suçlanmayayım diye,

Tel Aviv hava limanındaki Kutsal Toprakların havasıyla dolu bir sürü kutuyu ve Via Dolorosa'ya sıralanmış, nargileler, kullanışlı pirinç ibrikler, daha da kullanışlı pirinç şamdanlar, Tayvan yapımı Haçlı satranç setleri, parlak renkli Filistin takvimleri ve Kutsal Kabir Kilisesine giden yol üstündeki her şekil ve büyüklükteki haçları da ekleyeyim.

Elektron mikroskobu uzmanı meslektaşımın gösterdiği yapılar benim *nanobiblolar* adını verdiğim olgunun prototipleridir. Bunlar küçük ölçeklerde kendiliğinden gelişen, ama eğlence dışında bilinen hiçbir kullanım alanı olmayan büyüleyici ve çok güzel yapılardır. Mikrografların boyut ölçeği ta birkaç bin atoma kadar çıkar, bu yüzden bu özel örneklerle mikrobiblolar adını vermek daha uygun olur, ama nano önekini tercih ediyorum, çünkü o daha yaygın. *Xerox* ve *kleenex* sözcükleri gibi o da genelleşti ve fiilen "çok küçük"ün eşanlamlısı haline geldi, yani bir nanobiblo aslında sadece minik bir biblodur.

Şüphesiz ki bu sözcüğü uydurmaktaki amacım, bu uzunluk ölçeğindeki maddeleri kontrol etmeye yönelik, görünürde bizi daha iyi bir geleceğe götürecek yeni bir teknoloji olan nanoteknolojiyi hicvetmektir. Böyle bir hicve duyulan ihtiyaç hemen aşıkâr olmaz, zira nano ölçekte yeni örgütlenme kanununun ortaya çıktığı, bu kanunun hayatla ilgili olma potansiyeli taşıdığı ve önemli keşiflerin yapılmayı beklediği tartışmasızdır. Ama bu ihtiyaç gerçektir ve kişi hepsi birbirinden farklı baş döndürücü resimlerle, asla sonu gelmeyen araştırmalarla ve asla can alıcı noktaya dokunmayan iddialarla dolu sunumları yeterince izledikten sonra açıklığa kavuşur. Nano ölçek, sizi internetin ona bağlanıp "ipotek faiz oranları" arattığınızda hapsettiği gibi hapseder. Çok fazla şey görürsünüz. Basit bir soruya basit bir cevap yerine satış önerileriyle dolu devasa bir nehir, çok fazla şey vaat eden ama çok az şey veren parlak renkli yanıp sönen başlıklarla dolu bir sürü sayfa gelir. Bir keresinde aktör Tony Randall'ın ördeklerin dişlemesi yüzünden ölümden döndüğü hakkında bir espri yaptığı bir televizyon programı izlemiştim. İşte bu da onun gibidir. Şu anda nano ölçek hakkındaki bilgimiz ne-

redeyse kavranamayacak bir hızla patlıyorsa da, bu bilginin neredeyse tamamı derinlikli olarak önemsizdir. Bu durumdan büyük yeni teknolojiler gelişeceğini tahmin etmek, Noel süslerinin varlığından lazerleri tahmin etmek gibidir.

Nanoteknolojinin endüstriyel olarak kayda değer başarılarının listesinin bile yakından bakıldığında ilham veren ama bilerek yapılmış küçük nanobiblolar olduğu anlaşılır. Birkaç atom çapında, saf karbondan yapılmış küçük, puro şeklinde bir yapı olan nanotüp, birçok potansiyel kullanım alanı nedeniyle bir karşı örnek gibi görünür; ama bu görünüş hatalıdır.⁶ Plastiğe katkı maddelerini iletmek gibi birçok nanotüp kullanım alanı kimyaya dayalıdır ve başka yollarla da elde edilebilir ve Isaac Asimov'un *Fantastic Voyage* romanındaki benzer nanotüple çalışan mikro denizaltılar gibi uygulamalar bilimkurgudur.⁷ Nano bezelye kabukları (içlerine daha küçük moleküller tıkılmış nanotüpler) kesinlikle nanobiblolarıdır,⁸ nano ip adı verilen altıgen şeklinde dizilmiş nanotüp yapıları da öyle.⁹ Yarı iletken nanokristaller organik boyalarınkine benzeyen flüoresan özellikleri olduğu için (aslında her yarı iletken parçası bu özelliklere sahiptir) son zamanlarda haberlerde çok yer aldı. Bunlarda çeşitli özellikler Conway'in *Life*'inin ürettiği yaratıklara benzerdir ve kâşifleri onlara da benzer yaratıcı isimler koymuştur: çubuklar, gözyaşı damlaları, ok başları, tetrapodlar, dallı tetrapodlar ve boynuzlar.¹⁰

⁶ Şu anda araştırma topluluğunda nanotüplere yoğun bir ilgi vardır. Belirlenimci. M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus ve P.C. Eklund, *The Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes* (Academic Press, Burlington, MA, 1996). İlk keşif makalesi S. Iijima, *Nature* 354, 56 (1991).

⁷ Bunu uydurmuyorum. Mike Martin'in *Wireless NewsFactor*'deki yazısına bakın: <http://www.wirelessnewsfactor.com/perl/story/20867.htm>. Nanotüpler için teklif edilen diğer kullanım alanları ekranlar için alan sağlayıcılar, iletken plastik, enerji depolama (piller), moleküler elektronik, termal malzemeler, yapısal kompozitler, katalizör destekler ve sensörlerdir.

⁸ Nano bezelye kabukları içine bucky küreleri tıktırılmış nanotüplerdir. Bkz. B. W. Smith ve D. E. Luzzi, *Chem. Phys. Lett.* 321, 169 (2000).

⁹ Temsili bir yayın M. Bockratlı vd., *Phys. Rev. B* 61, 10606'dır (2000). Ayrıca bkz. <http://smalley.rice.edu>.

¹⁰ En kapsamlı referans UC Berkeley'deki Alivisatos grubunun internet say-

Başka durumlarda soğuk bir mantıkla davranan insanların böyle açıkça önemsiz konulara kafayı takabildikleri çok ilginç bir sorudur. Bana göre bu sorunun cevabı indirgemeci inancın baştan çıkarıcı gücüdür. Nano ölçekteki cisimlerin kontrol edilebilir olması fikri o kadar ikna edicidir ki, kişiyi bunun olamayacağını gösteren çok kuvvetli kanıtlara karşı kör eder. Nanobiblolari tarif etmek için kullandığımız, onları somut hale getirmenin bir yolu olarak makroskobik nesnelerle fiziksel benzerlikten çok yararlanan dile de bu fikir hâkimdir. Fakat nano yapılar, makroskobik nesneler değildir; retoriği ve bilgisayar grafiklerini çıkarıp gerçek deneyleri açıkladığınızda bu bariz hale gelir. Örneğin nanotüpler Tinkertoys'ta ya da bir örgü projesinde yapılacağı gibi karbon atomlarını teker teker ekleyerek değil, karbon bir hedef ya da ateşli bir karbon arkı üzerindeki şiddetli bir lazer patlamasının ürettiği isi kimyasal olarak ayırarak yapılır. Yarı iletken nano kristaller, biçimlendirme ve litografiyle değil, ışığın varlığında hidroflorik asitle güçlü kimyasal kazımayla¹¹ ya da geleneksel kristalleri öğütterek, sonra tozu hızla sıcak deterjanın içine enjekte ederek yapılır. Bu liste böyle devam eder. Genç bir profesörken karşılaştığım yüzey preparatları gibi, aslında bu nesneleri yaratan daha yüksek seviyeli bir örgütlenme kuralıdır. Kişi aslında onların detaylı planını değil bir sıcaklığı, bir akış oranını, bir alt katman yönelimini ya da başka bir kimyasal koşulu kontrol eder.

İronik olan şudur ki, katıksız teknik maçoluk yoluyla bu temel sınırlamaların üstesinden geldiği iddia edilen o harika modern ölçüm aletleri bu yanılsamayı güçlendirir. Aldatmacanın ötesini görmenin yolu bu aletlerin çalışma şeklini anlamaktır. Örneğin bir nanobiblonun bir elektron mikroskobu ya da taramalı kuvvet mikroskobundaki görüntüsü her zaman devasa bir sahnede onu hareketsiz kılıp kütle bütünlü-

fasıdır: <http://www.cchem.merkeley.edu/~pagrp/overview.html>. Ayrıca bkz. B.O. Dabbousi vd., *J. Phys. Chem. B* 101, 9463 (1997).

¹¹ Bu başlangıçta silisyum nanokristallerin kaynağı olan gözenekli silisyum yapmak için kullanılan prosedürdür. Bkz. L. T. Canham, *Appl. Phys. Lett.* 57, 1046 (1990).

günü aletten devralmasına neden olmakla başlar. Cismi böyle hareketsizleştirdikten sonra acele etmeden hakkında bilgi toplayabilir, zaman içinde yavaşça net bir görüntü oluşturabilirsiniz. Hareketsizleştirme olmasa resmi hızlı çekmeniz gerekirdi, bu da örneği kızartacak ışınım yoğunluklarını gerektirirdi. (Şu anda tam da bu senaryo yeni hızlandırıcı tabanlı X-ışını kaynakları bağlamında ele alınıyor; örnek patlamadan önce biraz bilgi edinebileceğiniz umuluyor.) Bu durumun bir sonucu, nanobiblolar oluşurken onların fotoğraflarını çekmenin ve dolayısıyla var olma nedenleriyle ilgili kuramları yanlışlamanın imkânsız olmasıdır. Proteinlerin sıradan X-ışını yapı analizi bile ilk adımı olarak proteinin kristalleşmesinden (beliren bir süreç) yararlanır. Dolayısıyla pratik bir konu olarak bütün nano ölçekli ölçümler beliren bir toplu olgunun zekice sömürüleridir ve bu yüzden de yapay ve görünürde anlaşılmış olan şeyin fazlasıyla manipüle edilmiş temsillerini ortaya koyarlar.

"Görebildikleriniz" ile doğrudan etkileyebildikleriniz arasındaki uyumsuzluk nahoş bir şekilde tıbbın bazı tanıtık yanlarını hatırlatır. Bir keresinde beyin cerrahı olan bir amcam beyinlerin manyetik rezonans görüntülerini göstermek için beni hastaneye çağırmıştı. Çağırmasının sebebi, bir yemek konuşmasında bu görüntüler hakkında ne düşündüğümü sormak, benim de tipik küstah fizik öğrencisi tarzında bunun imkânsız olması gerektiği cevabını vermemdi. Manyetik alan gücünü ölçüm odasında bir yerden diğerine değiştirme hilesini ve bu hileyi kullanan ticari ürünlerin çoktan piyasaya çıktığını anlamamıştım. Cevabımı duyunca o kadar eğlendi ki, yoğun programından zaman ayırıp bana koleksiyonunu gösterdi. Bu koleksiyon yalnızca ilginç anatomik görüntüler değil, son saldırgan invazif tümörlerin korkunç resimlerini de içeriyordu. Sonra iç çekti ve teşhis teknolojisinin tedavi kabiliyetini çok geride bıraktığını ve aslında bu insanların hepsinin öldüğünü itiraf etti. Bu uyumsuzluk o sırada bana garip gelmişti, ama geçmişe dönüp baktığımda onların sadece beyin cerrahı bibloları olduğunu fark ediyorum.

Dünyadaki fiziksel koşullar (sıcaklık, gece ve gündüzün süresi, kimyasal ortam vesaire) nedeniyle en fazla sayıda kendi kendini örgütlenme örneği kimyadan gelir ve başka türde bir parçacığın değil, atomların yığılarak yapılar oluşturmasını içerir. Sadece nükleonları, özellikle atom çekirdeklerinin kendilerini ve izotop kararlılığı kurallarını ve mezozkopik manyetizma ve Wigner kristalleşmesi¹² gibi yalnızca elektronları içeren örnekler de biliyoruz, ama bunlar anlaşılması zordur ve tespit etmek için gelişmiş makineleri gerektirir. Bu yüzden sıradan kimyanın bağlamları dışındaki bağlamlarda canlı gibi davranışın ortaya çıkacağı hayal edilebilirse de, bu fikirleri desteklemek için gereken deneyler şu anda pratik olamayacak kadar pahalıdır. Bunun ilginç bir sonucu, kimyacıların kendi kendini örgütlemeyi kendi özel alanları ve kendi disiplinleriyle fizik arasındaki pratik ayrım çizgisi olarak görmeleridir. Bu sahip lenmecilik kimi zaman eğlenceli sonuçları olur. Bir yemekte genetik kopyalama enzimi DNA polimerazın kâşifi Arthur Kornberg'in yanına oturmıştım. Onunla hayatın mekanizması hakkında çok keyifli bir sohbete dalmışken bütün bu meselenin harika bir fizik sorununa dönüştüğünü söylemek gibi bir hata yaptım. O zaman Kornberg durdu, sabırla bana birçok kimyasal tepkimenin gerçekleştiğini açıkladı ve konuyu değiştirdi. Zavallı adam bunları hep daha önce duymuştu ve ölçülemeyen ve deneysel sonuçlarla hiçbir ilgisi olmayan mekanik ilkeler hakkındaki boş tartışmalara girmek istemiyordu. Bu deneyimden biyokimyacılarla, özellikle tıbbi eğitimi olanlarla ciddi konuşmalarda *fizik* sözcüğünü kullanmamayı öğrendim.

Fizikçilerle kimyacılar arasındaki, kimin beliren kendi kendini örgütlemeyi daha iyi anladığıyla ilgili çekişmenin kökleri, insan psikolojisinin önemli ve kesinlikle bilim dışı bir yönüne dayanır: Çoğumuz için, bir şeyi anlamak onu

¹² Kuantum mekaniksel elektronların yeterince soğuk ve seyreltik olduklarında kristalleşmelerinin gerektiği ilk olarak kuramcı E. P. Wigner tarafından fark edildi. Wigner kristalleşmesinin gözlenmesi, sıvı helyumun yüzeyine püskürtülen elektronlar vasıtasıyla oldu. Bkz. C. C. Grimes ve G. Adams, *Phys. Rev. Lett.* 42, 795 (1970).

kontrol etmekle eşanlamlıdır. Örneğin çocuklarımı anlamamak, gerçekte onlara istediğimi yaptıramadığım anlamına gelir. Arabamı anlamamak; istediğimden daha fazla benzin kullandığı, yağ yaktığı ya da çalışmadığı anlamına gelir. Sık sık insanların şöyle dediklerini duyarsınız: Bu kablo yayın faturasını anlamıyorum; hükümeti anlamıyorum; karşı cinsi anlamıyorum. Şöyle dediklerini ise asla duymazsınız: Tuvaletimi anlamıyorum; bahçe hortumumu anlamıyorum; bu ke-revizi anlamıyorum. Bir kimyacının bakış açısından, bir şeyi anlamak genellikle onu yapmak ve gözlemlemek, tercihen bunu diğer herkesten önce becermek demektir. Bir fizikçinin bakış açısından, bir şeyi anlamak onu kategorize etmek, bu kategorizasyonun doğru olduğundan kesinlikle emin olmak ve onu diğer benzer şeylerle ilişkilendirmek demektir. Wolfgang Pauli'nin "yanlış bile değil" fikri, fiziğin merkezindedir; ama kimyada tam anlamıyla yersizdir. Bu yüzden, anlama konusunda tam bir yanlış anlama vardır ve bu disiplinlerden biri Mars'tan, diğeri Venüs'tendir.

Ne yazık ki, bilim insanları kimin evrene daha iyi hâkim olduğu hakkında didişirken, nanobiblolar işgal ediyor, umursamadan çoğalıyor ve ele geçiriyor. Hain planları, oyunun kurallarını değiştirmek: İnsanlar ne kadar çok biblo bulur, onların özelliklerini sıralamak ve kökenlerinin ayrıntılı soyağaçlarını çıkarmak için ne kadar çok çalışırlarsa, ormanlar yüzünden ağacı görememeye de o kadar yatkın hale geliyor. Nanobibloların Mars'tan ya da Venüs'ten değil, dış uzaydan geldiği anlaşıyor.

Elbette, aslında yaşadığımız şey uzay yaratıklarının istilası değil, bilimsel bir paradigma kayması; olayların düşünme şeklimizdeki büyük ölçekli bir yeniden düzenlemeye bizi zorlamasıdır. Sorunun yakınında olmayan herkes için bibloların karnavalının insanın doğayla etkileşimlerinin tarihinde yeni bir şeyi temsil ettiği ve bunu bilime dönüştürmenin bir icat, yani eski disiplinlerin parçalarını birleştirerek parçaların toplamından daha büyük bir şey elde etmeye uygun bir sosyal yapı gerektireceği apaçık ortadadır. Bunun henüz gerçekleşmediği de apaçık ortadadır.

Kısmen bu kurumsal yetersizliklerin sonucu olarak şu anda nano ölçekli fiziğin durumu ve biyolojiyle arayüzü, mutlu bir akademik sığınaktan çok serbest alanlardaki sığır güdücülerin çiftçiler ve onların çitleriyle savaş halinde olduğu, bu arada demiryolunun sessiz sedasız önemli olan bütün arazileri satın aldığı ve yaşamaya görmezden gelmesi için rüşvet verdiği bir Vahşi Batı filmini andırıyor. Bu benzerlik bir kaza değildir, zira bu boyut ölçeği ve orada işleyen kendi kendini örgütlenme ilkeleri modern bilimin sınırının bulunduğu yerdir. Burası insanı canlandıran bir yerdir ve birçoğumuz için doğal bir evdir, ama süt çocuklarına göre değildir. Vahşi Batıda olduğu gibi bu diyarda da kişisel davranış kuralları biraz eksik tanımlanmıştır, çünkü henüz devlet yoktur. İnsanlar önce hak iddia edip sonra sorular sormakla, bu oportünist sosyal kaosta hayatlarını ve işlerini ellerinden geldiği kadar iyi yürütmekle meşguldürler. Çok fazla para el değiştirmekte, birkaç el pokerde ya da kasabanın kirli ana caddesindeki bir düelloda büyük servetler elde edilmekte ve yitirilmektedir. Ayrıca çok büyük arsa ve madencilik dalavereleri olmakta ve bir sürü yılan yağı ile patentli ilaç satılmaktadır. Ama o zaman olduğu gibi şimdi de böyle vahşi ve kanunsuz bir yerde yolculuk yapmanın cazibesi, her zaman şans eseri büyük öneme sahip bir keşif yapma imkânı olmasıdır.

Fırsatlardan yararlanma konusunda böyle bariz ve sürekli başarısızlıklar olduğu halde keşfin –en azından şimdi sahip olduğumuz kurumlar bağlamında– kaçınılmaz olduğuna inanmaya devam etmek bazen zor olabilir. Fakat bu fikre teslim olup pes etmeden önce, eski nesillerin karşısındaki sorunları nasıl zorlu bulduklarını ve nasıl doğanın bıraktığı ipuçlarını cesurca izleyerek atılım yaptıklarını ve çözüme ulaştıklarını hatırlamak akıllıca olur. Doğadaki renk mucizesi kimyasal ilkeleri işaret ediyordu, onlar da sonunda anilin boyaların icadına yol açtı. Kayalardaki doğrultma mucizesi yarı iletkenlik ilkelerini işaret etti, o da transistörün icadına yol açtı. Bu durumların her birinde, ilerlemek yepyeni düşünce süreçlerinin, icat edilmelerinden uzun zaman sonraya kadar eksik oldukları fark edilmemiş uygulamaların icat edilmesini gerektirdi. Bugün hayat mucizesi ve onun

işaret ettiği nano ölçekteki örgütlenme ilkeleri üzerine kafa patlatıyoruz. Bu sorunu çözmenin imkânsız olacağı tahayyül edilebilir, ama ben öyle düşünmüyorum. Bu sorun hakkında boyalar, yarı iletkenler ve artık ekonomiye girmiş, hayatlarımıza nüfuz etmiş bütün diğer teknik harikalar hakkında olanla aynı önemli bilgi parçasına sahibiz: Doğa bunu çoktan başardı. Kuşkusuz, araştırma yapmak için çok uzun bir jeolojik süresi oldu, ama aynısı diğer şeyler için de geçerlidir.

Bir keresinde oğullarımdan biri ve onun iki arkadaşıyla beraber birkaç günlüğüne Yosemite'in kuzeyindeki yüksek arazilere gitmiştim. Herkesin programına uydurmak gerektiği için ancak Ağustosta gidebildik, bu da su sıkıntısı nedeniyle çok sorunlu bir zamandır. Bu dağlarda yazın fazla yağmur yağmaz ve mevsimin sonlarında son karlar bile eridiği, akıntılar da kuruduğu için yolculuğun uygun birkaç gölün çevresinde planlanması gerekir. Ayrıca sıcaktır. Ağaç çizgisinin üstünde sadece çıplak kayalıklar ve kumlu buzul döküntüleri vardır ve irtifa çok yüksek olduğu halde büyük alanlar berbat çöllerden ibarettir.

Üçüncü günümüzde bu çölün fazlasıyla uzun ve sert bir bölgesini geçmemiz gerekti ve ancak haritada "kamp için elverişsiz" diye işaretlenmiş küçük bir göle ucu ucuna yetişecek kadar gün ışığımız kaldı. Ne yazık ki, bu göle gitmek dışında pratik bir alternatif yoktu; bu yüzden uyarıyı göz ardı etmeye ve bir kısa gece boyunca orada bizi bekleyen tatsızlık her neyse onu sineye çekmeye karar verdik. Bu büyük bir hataydı. Bütün öğleden sonra boyunca ağaçsız bir çölde yürüyerek suyumuzu ve gücümüzü tükettikten sonra bu göle indik ve sığ, sazlıklarla dolu, acı sulu, sivrisineklerin istilasına uğramış bir su çukuru olduğunu, geyik ve sığır ayak izleriyle kaplı kıyısının geniş ve çamurlu olması nedeniyle göle erişmenin bile zor olduğunu gördük. Dahası, göl her yanda ay benzeri bir manzarayla çevriliydi, onun da tek iyi tarafı sonraki sabah kaçacağımız rota olan Brown Bear Geçidini tamamen gözler önüne sermesiydi.

Öyle yorgun ve susuzdum ki plandan vazgeçip o gece geçidi kat etmeyi düşünmek bile zor geliyordu; özellikle de diğer tarafta su olup olmadığından emin olmadığımız için.

Aslında bu olasılık yüzünden çok endişeleniyordum ve günün önceki saatlerinde keçi yolunda karşılaştığımız atlı bir adama yolda suyun nerede olduğunu sormuştum. Geçidin üç kilometre ötesinde biraz su olduğunu zannettiğini, ama emin olmadığını, çünkü haftalardır oraya gitmediğini söyledi. Ama bu konu tartışmalıydı, zira genç yol arkadaşlarım bu göle dayanamıyordu, kesinlikle yola devam etmemiz gerektiğini düşünüyordu ve sonunda beni denemeye ikna ettiler.

Böylece katı bir kararlılıkla sessizce uzun bayırdan yurkarı yürümeye başladık. Sonunda bayır dikleşerek sonu gelmeyen zikzaklar ve dönemeçler çizmeye başladı. Tam gece çökmeden önce tepeye varmayı başardık. Geçidin diğer tarafında gölgelerin ve ayak bileğini burkmak için bire bir moloz yığınlarının arasından uzun, dikey bir inişle bir kutu kanyonun dibindeki kuru bir su yoluna ulaştık. Kaya düşmesinin altına varmış, kanyona inen tehlikeli inişe başlamak için el fenerlerimizi yakmak üzereydik ki o sesi duydum: suyun hafif ama kolayca tanınan sesini. O atlı adam yanılıyordu. Kayalıkların dibinde, söğütlerin arasına saklanmış küçük bir kaynak vardı. Kurtulmuştuk.

Akşamın kalan kısmını fazla hatırlamıyorum, çünkü (kuşkusuz tuzu fazla kaçırdığım için) biraz hezeyana kapılmıştım, ama işler iyi gitti. Bir granit kaya üzerinde küçük bir ateş yaktık, dondurulup kurutulmuş tatsız yiyecekler pişirdik, uyku tulumlarımıza girdik ve anında uykuya daldık. Ama izlenimleri hatırlıyorum: söğüt ve adaçayı kokusu, kayalıklarla çerçelenmiş ve müthiş Samanyolunun parladığı simsiyah gökyüzü, derenin hafif mırıltısı ve arada bir de kayalık duvarlarından hafifçe yankılanan rüzgârın hüzünlü fısıltısı. Bir de kanyonun çok aşağılarından uluyan bir kır kurdu vardı, ama sonunda yoruldu ve gitti.

Issız yerlerde insanların gitmediği kaynaklar ve kimse'nin bilmediği canlandırıcı sular vardır. Ama onları bulmak için bilinen kısımların ötesine geçmeniz, araziye incelemeniz, bir şeyi yanlış anladığınızda kendinizi sorgulamanız ve sezginize güvenmeniz gerekir.

(On İki)

KORUMANIN KARANLIK TARAFI

Doğanın kendini gizleme âdeti vardır.

Herakleitos

Gerçeklerden kaçma gibi bir zayıflığı olan herkes (bu da büyük ölçüde herkes demektir) *Star Wars* [*Yıldız Savaşları*] filmlerinde ölümsüzleştirilmiş olan Gücün Karanlık Tarafını bilir. Bu büyük mitolojik arketip Stoacı filozofların *doğal düzen* adını verdiği, evreni bildirdiğini düşündükleri kapsayıcı bir ilke ya da maddenin kötücül yanıdır. Karanlık Taraf her zaman sizi bozmak için pusuda bekler. Güçlü insanlar baştan çıkarmasına karşı koyabilirler, ama Darth Vader gibi zayıf insanlar ona teslim olurlar. Darth Vader ve karanlık taraftaki diğerleri bir araya gelip fesat çıkarmaya başladıklarında Karanlık Tarafın kötülüğü gerçekten önem kazanmaya başlar. İçlerinden biri olan kötü Senatör Palpatine diğerlerini Karanlık Tarafa çekip barış ve istikrarı tehdit eden hayali tehditler üreterek, sonra da yasama ona mutlak iktidarı verirse "isteksizce" bunlarla başa çıkabileceğini söyleyerek galaksi imparatoru olmayı başarır. İnsanlar güvenliklerinden endişelendikleri ve korunmak istendikleri için senatöre istediği güçleri verirler, ama o bunları güçlendirerek zalim ve baskıcı bir diktatörlük kurar.

Sadece devletler ve onların sinir bozucu özel sektör versiyonları (Mafya gibi) değil, doğanın kendisi de istikrarı bozucu dış etkilere duyarsız kanunlar vasıtasıyla koruma sağlar.¹

¹ "Koruma" terimini David Pines ile ben, teknik (ve dolayısıyla kafa karıştırıcı) fizik terimi "yeniden normalleşme grubunun çekici sabit noktası"nın meslekten olmayanların da anlayabileceği eşanlamlısı olarak türettik.

Koruma tıpkı doğada olduğu gibi fiziksel dünyada da kesinlik ve güvenilirlik oluşturur, ama fiziksel versiyonların ilkel olma avantajı vardır, böylece belirsizliğe yer bırakmayacak şekilde örgütlenme ilkesinin kendisi dışında hiçbir zekâ içermeyen kendiliğinden örgütlenme olguları olarak tanımlanabilirler. Sert kütlelerin sıralanmasının, süperakışkanların akışının ve hatta uzayın boşluğunun evrensel özellikleri bu etkinin birçok somut, iyi belgelenmiş örneği arasındadır.² Malzeme sertliğinin yersiz bir atoma duyarsızlığı, bir seçim sonucunun yersiz bir siyasi fikre (her nasılsa benimkinin hep olduğu gibi) duyarsız olmasından farklı değildir. Sonunda koruma bir geçit törenini izleyen ve çocuğuna çok düşkün olan, "Bakın! Johnny dışında herkes yanlış yürüyor!" diyen bir annenin sabit fikirli verimliliğiyle kusurun üstesinden gelir.

Fakat doğadaki koruma kurumlarının da insan dünyasındaki karşılıkları gibi karanlık bir tarafı vardır: nihai sebepleri gizleyerek kişinin seçeneklerini sınırlama eğilimleri. Örneğin güvenilir yapıların tasarımı mümkün kılan güçlü bir kanun olan katı halin esnek sertliği atomların varlığını gizler, çünkü esnek özellikler sıralamanın evrensel sonuçlarıdır ve katılar başka bir şeyden yapılsa da aynı olacaktır. Atomların varlığını kanıtlamak X-ışını saçılımı gibi korumadan kaçabilen bir ölçüm tekniği olmadan esas olarak imkânsızdır. Atomlardan habersiz olmak otomobiller ya da gökdelenler yapıyorsanız önemli değildir, ama bilgisayarlar ya da televizyonlar yapmaya çalışıyorsanız gayet önemlidir. Dolayısıyla hem teknolojik ilerlemenin tesadüfi olmasının hem de teknolojilerin bir şekilde "doğa dışı" olduğu algısının korumanın karanlık tarafının bir sonucu olduğu iddia edilebilir. Bu sorunun en aşırı durumu uzay vakumunun kendisidir. Uzay vakumu şu anda yapabildiğimiz deneylerde evrensel korumalı davranışın ve dolayısıyla hızlandırıcı teknolojilerimiz gelişinceye kadar bilemeyeceğimiz mikros-

Bkz. R. B. Laughlin ve D. Pines, *Proc. Natl. Acad. Sci.* 97, 28 (2000).

² Bu ilişkiler P.W. Anderson, *Concepts in Solids*'te (World Scientific, Singapur, 1998) kısa ve öz bir şekilde açıklanmaktadır.

kobik kanunlarla düzenlenmenin belirtilerini sergiler.

Korumanın karanlık tarafının birçok günlük analojisi vardır. Örneğin; McDonald's, Starbucks ve Kentucky Fried Chicken tam da ürünleri istikrarlı ve güvenilir olduğu, böylece önceden ne alacağınızı bildiğiniz için yararlıdır. Fakat aynı zamanda sadece onların müşterisi olmak yenilik yapan bir restoran keşfetme olasılığını yok eder. İşte bu yüzden bağımsız zihinli insanlar bu şirketlerden hiç hazzetmezler; onların hisselerine sahip olsalar ve kesinlik önemli olduğu zaman hiç çekinmeden onlara bel bağlasalar bile. Ama hissem olsa da olmasa da, bir hava limanında çaresiz kaldığım zaman bile hazır donmuş yoğurt yemeyeceğim. Sefil hayat süren insanları da uyarıyorum: Cehennemdeki ödülünüz menüde yalnızca tavuklu Sezar salatasının olduğu bir masaya sonsuza kadar zincirlenmek olacak. Fransa'da daha az koruma olduğu için hepimiz şanslıyız. Sovyet günlerini görmüş Ruslarda ya da 3. Dünya Savaşı sonrası toplumun yeniliği tamamen yasaklayarak "hayat tarzı"nı koruduğu şahane bir kara mizah romanı olan Harlan Ellison'ın *A Boy and His Dog*'ında benzer ama biraz daha karamsar espriler bulunabilir.³ Ellison'un kahramanı seks delisi bir kadın düşmanıdır ve açıktan ölmek üzere olan telepatik köpeğini kurtarmak için korumadan kaçıp dünyanın yüzeyine döner ve onu bıktırıcı kız arkadaşının etiyile besler. Karım bu hikâyeden hoşlanmaz.

Fizikteki bütün iyi belgelenmiş koruma durumları ölçek değişmezliğiyle nitelenir.⁴ Bu fikir, bir borulu organ

³ Harlan Ellison'un kısa romanı *A Boy and His Dog* 1974'te Don Johnson'ın başrolünü oynadığı düşük bütçeli bir filme uyarlandı. Hikâye ilk olarak H. Ellison, *The Beast That Shouted Love and the Heart of the World*'te (Avon Books, New York, 1969) yer aldı.

⁴ Hal geçişlerinde ölçek değişmezliği ve yeniden normalleşebilirlik konusunda devasa bir literatür vardır. Genellikle tavsiye ettiğim metin kaşiflerinden biri tarafından kaleme alınmıştır: L. P. Kadanoff, *Statistical Physics: Statics, Dynamics and Renormalization in Statistical Physics* (Cambridge University Press, Londra, 1996). Bu olguların *kuantum* (yani sıfır sıcaklıktaki) versiyonlarının niteliksel olarak "istatistiksel" (yani sınırlı sıcaklıktaki) versiyonlarına benzer olduğunun genel olarak anlaşıldığına dikkat ediniz. Bkz. S. Sachdev, *Quantum Phase Transitions*

ses çıkarmasıyla ilgili bir film çekmek isteyen yeteneksiz bir yönetmenin hikâyesiyle açıklanır. Bu filmin iyi hasılat getirmeyeceği ortadadır, ama bu avangart bir yönetmendir ve filmin en üstün Zen sinema deneyimi olacağına inanmaktadır. Birkaç dakika film çektikten sonra kalitenin yeterince iyi olmadığına karar verir, bu yüzden “kestik” diye bağırır ve yeniden başlar. Bütün boyutları iki kat olan –ve elbette daha pes bir tonda ses çıkaran– bir borulu org yapımları için teknisyenler çağrılır ve kameramandan büyütülmüş borulu orgun yine görüş alanını doldurması için geriye gitmesi istenir. Ardından yönetmen yeniden film çekmeye başlar; ama sonra hatasını fark eder. Hiddetle film şeridini projektöre sokar, bir anahtarı indirip iki kat hızlı oynamasını sağlar ve düşündüğü gibi görüntü ve sesin daha öncekinin tıpatıp aynısı olduğunu görür. Yaptığı iyileştirmeler hiçbir şeyi değiştirmemiştir. Bunun sebebi, borulu orgun sesinden sorumlu hidrodinamik kanunlarının ölçeğe göre değişmez olmasıdır. Borulu orgun gözlemlenen davranışı örnek büyüklüğü iki katına çıkarıldığında, sonra uzaklık ve sürenin ölçümü için ölçekler de karşılık gelecek şekilde iki katına çıkarıldığında aynı kalır. Bu süreç *yeniden normalleşme* diye anılır ve fizikte korumayı ele almanın geleneksel kavramsal temelidir.⁵

Yeniden normalleşebilirlik kökünden dengesizdir. Örneğin borulu org durumunda, yeniden normalleşme kuralı bozulmadan giderek daha büyük boyutlara ölçeklenebilir, ama ters yönde, yani daha küçük boyutlar için ölçeklemek sadece atom büyüklüğüne kadar işe yarar, zira o noktada hidrodinamik kanunları geçersiz hale gelir. Aslında bu deneyi tersine, küçük bir örnekten başlayıp yukarı ölçekleyerek hayal etmek daha açıklayıcıdır. Böyle yapıldığında atom taneselliği, çizgisel olmayan viskozite kuralları, akışların basınç dışındaki

(Cambridge University Press, Londra, 2000).

⁵ J. C. Collins vd., *Renormalization* (Cambridge University Press, Londra, 1984). Ayrıca bkz. C. Itzykson vd., *Statistical Field Theory: Volume 1, From Brownian Motion to Renormalization and Lattice Gauge Theory* (Cambridge University Press, Londra, 1989) ve J. Cardy vd., *Scaling and Renormalization in Statistical Physics* (Cambridge University Press, Londra, 1996).

iç faktörlere bağımlılığı gibi hidrodinamiğe yapılmış düzeltmelerin her bir boyut değişikliğinde giderek küçüldüğü ve büyük örnek boyutu sınırında hidrodinamik olgusunun “belirmesine” neden olduğu bulunur. Bu iyi haberdir. Kötü haber ise başka ihtimaller olmasıdır. Eğer birim hacim başına atom sayısı biraz daha yüksek olsaydı, yeniden normalleşme altında akışkanların değil, kristalli katıların evrensellikleri belirirdi. Küçük örneklerin bütün olası fazlarının öğelerini barındırdığı –tıpkı bir bebeğin çeşitli yetişkinlik türlerinin bütün öğelerini barındırdığı gibi– ve sistemin bir hal ya da diğeri şeklindeki kimliğinin ancak büyüme yoluyla bazı özelliklerinin kırılıp diğerlerinin artırılmasından sonra geliştiği söylenebilir.

Yeniden normalleşme altında bir fiziksel özelliğin, örneğin akışkanlarda kesme mukavemetinin azalması için kullanılan teknik terim *ilgisizlik*dir. Dolayısıyla bir akışkanda hidrodinamiğe –aslında bir atom topluluğunun ölçüldüğü hayal edilebilecek çoğu özelliğine– yapılmış düzeltmeler, ayrıca sistem katı olduğunda elastik sertliğe yapılan düzeltmeler ilgisizdir. Ne yazık ki ilgisizlik aynı zamanda şu ana kadar uydurulmuş en aptalca teknik terim konusunda en güçlü adaylardan biridir. Birden fazla anlama sahip olduğu için, profesyonel fizikçiler de dâhil herkesin kafasını karıştırır. Bilim insanlarını başka insanların anlayamadığı şeyler icat ettikleri için ödüllendirme uygulaması hakkında çok şey söyleyebilirim, ama kendimi zapt edecek ve bunu yapmanın en kolay yollarından birinin yaygın olarak kullanılan bir sözcüğe yeni bir anlam atamak olduğunu belirtmekle yetineceğim. Sohbet edersiniz, gelişigüzel bir şekilde bu sözcüğü söylersiniz ve dinleyen herkesin ümitsiz derecede kafası karışır. Şifreyi çözmenin püf noktası, “ilgisiz” sözcüğünün iki versiyonunun olmasıdır. Bunlardan biri “alakalı değil” anlamına gelir ve fizik dışında pek çok şey için geçerlidir. Diğeri “belirme ilkeleri yüzünden ölçülemeyecek kadar küçük olmaya mahkûm” anlamına gelir ve bazı fiziksel şeyler için geçerlidir.

Sistem bir hal geçişinde dengede olduğunda, bu yüzden kendini nasıl düzenleyeceğine karar vermekte zorluk çektiğinde geleneksel koruma ilkelerinin belirmesi ilginç bir hal alır. O durumda manyetik bir malzemedeki manyetizma miktarı gibi örnek boyutu arttıkça sınır olmadan büyüyen tek bir karakteristik miktar dışında her şey ilgisiz olabilir. Bu *ilgili* miktar sonunda sistemin hangi halde olacağına karar verir. Örneğin manyetizma durumunda, eğer sıcaklık belli bir değeri aşarsa büyüme negatif olur ve bu sıcaklığın üstünde manyetizmanın yok olmasına neden olur. Manyetik olmak, ya hep ya hiçtir. Ne artan ne de azalan miktarlar da olabilir, ama marjinal değişkenler denilen bu miktarlar doğada nadiren gerçekleşen (yani asla gerçekleşmeyen) bir çeşit ölü doğmuş hal geçişini nitelerler. Bu durum iyi dengelenmiş takımlar arasındaki bir halat çekme oyununu andırır. Oyun başladığında takımlar ileri geri mücadele ederek –ilk hareket eden, sonra hareket eden diğerine göre avantaj elde ederek– bir halat çekme oyununun evrensel niteliklerini sergilerler; hayatın bütün diğer yönleri ilgisiz hale gelmiştir. Sonunda bir takım halatı kendi tarafına doğru giderek daha hızlı çeker, diğer takım da kontrolü yitirip korkunç bir biçimde çamura yuvarlanır. Bu yarışmanın bir galibinin olacağı kesindir, ama galibin belli olmasının ne kadar süreceği belli değildir. Prensip olarak, eğer iki takım rastgele bir şekilde iyi dengeli olursa yarışma rastgele bir uzun zaman boyunca devam edebilir. Pratikte, bu denge onları dış etkilere, örneğin fırtınalara ya da seyircilerin müdahalelerine açık hale getirir, böylece sonucu bir takımın diğerlerine doğal üstünlüğü değil bu dış etkiler belirler. Bu etki aynı zamanda dengeli seçimlerde de meydana gelir, bu yüzden bu seçimler pek bir şey ifade etmez.

Dengeli koruma doğada yaygın olarak, ama beklenebileceğinden daha az görülür, çünkü çoğu hal geçişi, örneğin suyun buharlaşması, halleri birlikte var olmaya zorlayan gizli bir ısıya sahiptir. Su sıcak, nemli bir günde tam bir hal dengesindedir; bir kısmı havada, kalanı göller ve gölcüklerdedir. İşte tam da bu denge yüzünden bu günler çok rahatsız edicidir, zira denge insanın vücudundaki suyun buharlaşarak

onu serinletmesini önler. Ama eğer su basınca maruz bırakılırsa, sıvıyı buhara çevirmek için gereken ısının azalması, sonra da tamamen yok olması sağlanabilir, böylece sıvıyla buhar arasındaki fark yok edilmiş olur. Bu fark ucu ucuna yok olduğunda, *kritik opaklık* adı verilen, akışkanın süt gibi ve opak bir hal aldığı gerçek bir denge etkisi elde edilir.⁶ Bu etki sis gibi bir şeydir, ama çok daha ilginçtir, zira ölçekten yoksundur. Gerçek sisteki damlacık büyüklüğü havadaki toz ve mikroskobik deniz tuzu zerrelere gibi çevresel faktörlerle belirlenir ve yakında bir göl olması gibi aşırı bir durumda kolaylıkla aşırı büyük olabilir. Ama basınç altında akışkanın şizofrenisi en üst düzeye çıkar ve buhar benzeri davranışı eş zamanlı olarak bütün ölçeklerde mevcut olur. Bu etkiyi görmek son derece eğlenceli olsa da, pratik kullanım alanı çalışma akışkanının bu özelliğini yakıt verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için kullanan buhar türbini tasarımıyla kısıtlıdır.

Denge evrensellikleri ve doğadaki hal geçişleriyle ilişkili ilgililik, benim Karanlık Sonuçlar adını verdiğim iki fiziksel etkiye sebep olur. Bu terimin taşıdığı aşırı duygusal hava kasıtlıdır, çünkü bu etkiler sinsî, yok edici ve çok kötüdür; en azından gerçeğe gerçek olmayanı ayırt etmekle ilgilenen birinin bakış açısından.

İlk Karanlık Sonuca Hilekâr Hindi etkisi adını veririm. Bu isim Mark Twain'in avladığı bir hindinin yaralanmış taklidi yaparak onu yuvasından uzağa sürüklemesini anlattığı bir skecinden gelir.⁷ Mark Twain hindiye tekrar tekrar kıl payı

⁶ Kritik opaklık, klasik olarak sıcak sıkıştırılmış gazlarda meydana gelir. Örneğin karbon diyoksitten kritik noktasında ışık saçılımı olduğu J. A. White ve B. S. Maccabee, *Phys. Rev. Lett.* 26, 1468'de (1971) bildirilmiştir. Daha erişilebilir örnekler kimyasal sistemlerde meydana gelir: P. A. Egelstaff ve G. D. Wingnall, *J. Phys. C* 3, 1673 (1973); J. S. Huang ve M.W. Kim, *Phys. Rev. Lett.* 47, 1462 (1981); C. Herkt-Maetzky ve J. Schelton, *Phys. Rev. Lett.* 51, 896 (1983); G. Dietler ve D. S. Cannell, *Phys. Rev. Lett.* 60, 1852 (1988).

⁷ "Hunting the Deceitful Turkey" (Hilekâr Hindiye Avlamak) skeci ilk olarak *The Mysterious Stranger*'da yer aldı. *Mark Twain: Collected Tales, Sketches, Speeches and Essays*, L. J. Budd, ed.'de (Library of America, 1992) yeniden basıldı, ayrıca internette de <http://www.gutenberg.org/etext/3186>'de mevcuttur.

elinden kaçırmaz ve ancak kilometrelerce uzağa sürüklendikten sonra aslında yaklaşmayıp kandırıldığını fark eder. Fizikteki Hilekâr Hindi etkisi de benzerdir. İstikrarlı koruma, altta yatan mikroskobik kuralları tespit etmemizi önlerken, *istikrarsız* koruma bizi kandırarak onları bulduğumuzu zannettirir; oysa bulamamışsınız. Bu da etkinin var olduğuna dair deneysel delili oldukça uzun hale getirir, zira karşılık gelen deneysel literatür karışıktır. Bir alegori bu durumu daha iyi açıklayacaktır. Halat çekmece oyununa geri dönelim ve giderek daha kısa zaman ölçeklerinde gözlemler yaparak halat çekmece oyunlarının "ilk sebep"ini bulmaya çalıştığımızı farz edelim. Ayrıca oyunun iyi dengeli olduğunu, yani kesin sonuç için ölçeğin son derece uzun olduğunu, bu yüzden de belirsizlik diyarına deneysel olarak kolayca erişilebildiğini farz edelim. Sonra deneysel gözlemleri yaparken halat çekme oyununun evrenselliğinin ortaya koyulduğu geniş bir zaman menzili keşfederiz –takımlar; katılımcılardan, halatın doğasından, zeminin kayganlığından ve diğer şeylerden bağımsız olarak dengede kalırlar– ve dahası, bu davranış meşru olarak kararın, dolayısıyla da "altta yatan" kanunun öncüsü ya da öncülü olarak gözlemlenir. Davranışın evrenselliği aynı zamanda onun basit bir matematiksel tarifine ve dolaylı olarak nihai bir sonuca geçişin basit bir matematiksel tarifine izin verir. Halat çekme oyununun basit nihai sebebini bulduğumuzu zannederiz, ama bulduğumuz aslında nihai sebep numarası yapan ara korumalı davranıştır! Geçiş kuramımız; doğru, zarif, matematiksel olarak kesin ve tamamen anlamsızdır. Aldatılmışsınız! Fakat bu durumda, aldatan bir sahtekâr ya da iş arkadaşı (ya da bir hindi) değil doğanın kendisidir.

İkinci Karanlık Sonuca İlgililik Engeli adını veririm. Mucize eseri birinin bir şeyin (o şey her neyse) altında yatan gerçek matematiksel tarifi keşfetmeyi başardığını ve denklemleri çözmeyi ve bunların ima ettiği korumalı davranışı kestirmeyi görev edindiğini farz edin. Şüphesiz ki tahminlerde bulunması gerekecektir ve istikrarlı bir şekilde korunmuş bir durumda bu tahminlerde saklı olan küçük hatalar

teknik bakımdan ilgisiz olacaktır, çünkü daha büyük örnek boyutlarına çıkıldıkça azalacaklardır. Ama dengesiz bir durumda ilgili hatalar sınır olmadan büyür. Fiziksel davranış kişinin hatalarını azaltacağına güçlendirerek örnek boyutu arttıkça kişinin öngörülerinin daha da güvenilmez olmasına neden olur. Bu etki kavramsal olarak kaos kuramındaki "ilk durumlara duyarlı bağımlılık" ile aynı şeydir, ama zamanla değişim yerine ölçek değişimiyle alakalı olmalarıyla ondan ayrılır. Kaos kuramında olduğu gibi, denklemleri çözme prosedüründeki çok küçük bir hata bile yayılarak nihai sonuçta devasa, sonucu niteliksel açıdan hatalı yapacak kadar büyük bir hata haline gelebilir. Bu tür evrensellik öngörü gücünü yok eder. Altta yatan doğru denklemler elinizde olsa bile gerçekten önem verdiğiniz davranışı kestirmek için işe yaramayacaklardır, çünkü onları böyle öngörüler yapmak için yeterince doğru bir şekilde çözemezsiniz. Bu da onları yanlışlanamaz yapar.⁸ Eğer bazı deneyleri güvenilir biçimde kestiremezseniz, bu deneyleri kuramın doğru olup olmadığını tespit etmek için de kullanamazsınız. Sistem kendiliğinden bilginin önünde temel bir engel, epistemolojik bir tuğla duvar oluşturmuştur. Ama belirli bir halin içinde, makroskobik özellikler gayet kestirilebilirdir. Bu, flört gibidir. Altta yatan itkiler basittir ve kolayca anlaşılır; nihai sonuç, bir avuç evrensel olgudan biridir, ama arada yaşananlar karmaşık ve son derece kestirilemezdir.

Karanlık Sonuçların etkisini göstermesinin tipik bir örneği bağıntılı elektron etkisidir.⁹ Bu, aslında indirgemecilerin kullandıkları yanlış bir isimdir, zira kuantum mekaniğinde "bağıntı" sadece "dolanıklık" demektir; ki bu, elektronların

⁸ Burada Karl Popper'ın akademisyenler arasında sonu gelmeyen bir tartışma konusu olan bilimsel epistemoloji felsefesini ihlal ediyorum. Burada yalnızca ilk kaynağı vereceğim: Popper'ın kitabı *Logik der Forschung*, K. Popper, *The Logic of Scientific Discovery* olarak yeniden basıldı (Routledge, NY, 2002).

⁹ Bağıntılı elektron sorunuyla ilgili internette bulunan literatür kafa karıştırıcı ve referans verilemeyecek kadar kapsamlıdır. Bu alana mantıllı bir genel bakış için Z. Wang vd., *Strongly Correlated Electronic Materials*'ı (Westview Press, Boulder, CO, 1994) tavsiye ederim.

kimi zaman değil, her zaman sergiledikleri bir şeydir. Elektronlara bağıntılı demek su kütlelerine ıslak demek gibidir. Bağıntılı elektron etkisi aslında katılardaki basit metal, yalıtıcı, ferromıknatıs vb geleneksel kategorilere uymayan, bunun yerine bir şekilde arada takılıp kalmış görünen bir davranışlar kümesidir. Bunlar çoğunlukla metalik oksitlerde (V_2O_3), ama aynı zamanda bazı ara metalik bileşiklerde ($Ce-Cu_2Si_2$), alaşımlarda (UBe_{13}) ve birçok organik maddede (yük aktarımı tuzları) meydana gelirler. Kötü şöhretli sınıflandırılma zorluklarına ek olarak, bu maddelerin atom kusurlarına aşırı duyarlılık, örnek hazırlama yöntemine bağlı sıralanmış haller ve tekrarlanamayan spektroskopik özellikler de dâhil, uzun bir liste oluşturan şüpheli özellikleri vardır; bu da, bir ya da daha fazla kötü nitelenmiş hal geçişine yakınlığı ortaya koyar. Ancak, "bağıntılı" ismi başka bir şeyi ima eder: Normalde dolanıklığı olan maddeyi tarif etmek için kullanılan yaklaşık teknikler bu malzemelerde bir sebeple işe yaramaz, sorun da odur. Bir başka deyişle, davranış onu hesaplayamadığınız için gariptir; garip olduğu için hesaplanması zor değildir.

Böyle basit bir meselenin deneyle kolayca çözülebileceğini düşünebilirsiniz, ama durum bu değildir. Yıllar boyunca farklı araştırma grupları ardı ardına aynı deneysel ölçümlerden farklı yanıtlar aldılar, hatta sık sık kendilerinin birkaç ay önceki sonuçlarından bile farklı yanıtlar aldılar ve yıllar boyunca diğerlerini yeteneksizlikle suçlayarak kendi çalışmalarının dürüstlüğünü savundular. Sonra kuramcılar bu sonuçları ayıklayıp beğendiklerini seçerek ve bunların kendi iddialarını desteklediği için ahlaken üstün olduğunu beyan ederek "analiz ettiler." Elbette altta yatan denklemler çok iyi biliniyordu ve daha az tartışmalı bağlamlarda yaklaşık çözüme gayet uygundu, ama bu deneylerde ne olacağını kestirmek için yeterli doğrulukla çözülemiyorlardı. Bu da, kuramsal uyumsuzluğun kendisinin tartışmalı hale getirmek gibi şahane bir sonuca yol açıyordu; çünkü kişi her zaman diğer kişinin hesaplarının kusurlu olduğunu ileri sürebilirdi. Böylece insanların bağıntılı elektron etkisi üzerinde cid-

diyetle çalışmaya başlamasından beri geçen elli yılda asıl önemli olan şeyi, yani etkinin ne olduğunu netliğe kavuşturmak konusunda hiçbir ilerleme kaydedilemedi.

Geriye dönüp bakıldığında, böyle kaba bir davranış son derece zeki insanlardan olanaksız şeyler yapmalarını istemenin bir belirtisidir, dolayısıyla fiilen bir İlgililik Engelinin iş başında olduğunun kanıtıdır. Böyle bir engeli aşıp güvenilir bir şekilde hesap yapmak en büyük bilgisayarlarla bile kökünden imkânsızdır; bu nedenle, kuramlar çok çeşitli ve birbiriyle uyumsuzdur. Deneyleri malzemenin nüanslarına karşı dengeli hale getirmek kökünden olanaksızdır, bu nedenle deneyler tekrar edilemez. Kuramları –bu durumda ilgili bilgisayar programlarının içine koyulmuş yaklaştırma planlarını– yanlışlamak kökünden olanaksızdır, bu nedenle haklarındaki tartışmalar siyasi bir yapıya bürünür. Kuramların hepsi Hilekâr Hindiler, yani bir gün geçerli oldukları gösterilebilecek, ama şimdilik erişimimizi dışında olan fikirlerdir.

Karanlık Sonuçların kurbanı olan bilim insanları sık sık sezgisel olarak bir şeyin yanlış gittiğini anlar, ama bunun tam olarak ne olduğunu anlayamazlar, bu yüzden espriler yaparlar. Şu hikâye çok ayrıntılı (ve kârsız) biçimde incelendiği için özel tarihi öneme sahip bağıntılı elektron malzemeleri olan yüksek sıcaklık süperiletkenleri üzerinde çalışan araştırmacılar tarafından anlatılır. Küçük bir ülkede darbe olur ve yeni hükümet eski bakanlar kurulunun bütün üyelerini idam etmeye koyulur. İçlerinden ikisi hüküm giydirmesi için diktatörün huzuruna çıkarılır. Diktatör ikisine de son isteklerini sorar. Birinci adam, "Hükümete bakan olmadan önce fizik profesörüydüm. Son isteğim yüksek sıcaklık süperiletkenliği kuramım hakkında ülkedeki bütün fizikçilerin katılacağı bir konferans vermek," der. İkinci adam, "Ben de bir fizikçiyim. Lütfen o bu konferansı vermeden beni öldürün," der.

Karanlık Sonuçların yaramazlığının bir başka hoş örneği de ben öğrenciyken birçok fizikçinin canına okumuş olan kötü şöhretli silisyum yüzeyi yeniden inşası olgusudur. 1950'lerde vakumda yeni ayrılmış bir silisyum kristalinin

yüzeyindeki atomların kendiliğinden hareket ederek sıralama desenleri ürettiği keşfedildi. Elde edilen özel desen ayırma yöntemine, tavlama geçmişine vb bağlı olsa da, son ve en istikrarlı desen her zaman yerel yüzeydeki atomlar arasındaki mesafeden yedi kat uzun bir tekrarlı birime sahipti ve sıkışarak ikizkenar yamuk şeklini alıyordu. Silisyumun bunu neden yaptığını, hatta atomların yeniden düzenlenmesinin ne olduğunu kimse bilmiyordu, çünkü onu açığa çıkaran elektron kırınımı etkileri, tekrarlanan birimin yapısını yeterince doğru şekilde tespit edemiyordu. O zaman büyük zorluk, kuantum mekaniği denklemlerini bilgisayarla çözerek atomların nasıl bu etkiyi elde edecek şekilde hareket ettiğini anlamaktı. Bu soruna harcanan emek zamanını düşündükçe ürperiyorum, ama bu emekler bir karadelige gönderilmiş gibiydi. Problem aşırı zordu. Bu hesaplardan çeşit çeşit ilginç desenler çıktı, ama hiçbirini deneylerle uyuşturmuyordu, bu da Karanlık Sonuçların iş başında olduğunun kesin bir işaretiydi. Yapı sonunda Tokyo Teknoloji Enstitüsündeki bir deneyci olan Kunio Takayanagi tarafından yeni, yüksek enerjili bir elektron kırınımı tekniği kullanılarak çözüldü; sonra da bu yapının neden başından beri aşikâr olduğunu açıklayan bir sürü revizyonist kuram ileri sürüldü.¹⁰ Ama bu iddia doğru değildir. Bugün bile neden istikrarlı tekrar uzunluğunun yedi olduğunu, neden eğrilerek ikizkenar yamuk şeklini aldığını ve neden bu kadar istikrarlı olduğunu kimse bilmiyor; ama doğa atomları her seferinde binlerce atom boşluğu arasından bu şekilde sıralamakta hiç zorluk çekmiyor.

Karanlık Sonuçlar malzeme bilimindeki dev deneysel bilgi kütlesi nedeniyle en iyi orada belgelenmiş olsa da, en önemli oldukları yer evrenbilimdir.¹¹ 1950'lerden beri uzay

¹⁰ Silisyum 7x7 sorununun ilk çözümü K. Takayanagi, Y. Tanishiro, S. Takahashi ve M. Takahashi, *Surf. Sci.* 164, 367'dir (1985). O zaman yayınlanmış ilgili bir kuramsal makale I. Stich vd., *Phys. Rev. Lett.* 68, 1351'dir (1992).

¹¹ Vakumun yeniden normalleşebilirliğinin ilgililiği dâhil evrenbilimsel meselelerin güncel bir tartışması G. W. Gibbons vd., editörler, *The Future of Theoretical Physics and Cosmology: A Celebration of Stephen Hawking's 60th Birthday*'de (Cambridge University Press, Londra, 2003) bulunabilir.

vakumunun yeniden normalleşebildiği, yani içinde yayılan temel parçacıkların ve aralarındaki kuvvetlerin sıradan maddede hal geçişlerinde beliren ölçekle değişmez denklemlerle aynı türden denklemlere uyduğu bilinir. Aynı zamanda bu şeylerin uzayın kendisiyle temel bir şekilde bağlı olmaları gerektiğini biliyoruz, çünkü çekim üretmezler, uzayın kendisinin yeniden normalleşebildiği fikri de buradan gelir. Evrenin yeniden normalleşebilirliğinin* bir hal geçişine yakınlıktan kaynaklanıp kaynaklanmadığı bilinmez, zira tıpkı sıradan maddede olduğu gibi bunun etkilerinden biri, büyük uzunluk ölçeklerinde yapılmış ölçümlerden küçük uzunluk ölçeklerindeki ölçümler hakkında bir çıkarımda bulunmanızı önlemesidir. Dolayısıyla yeniden normalleşebilirlik ders kitaplarında, bilimdeki standart uygulama olan minimum varsayımda bulunmakla tutarlı olarak, uzayın sadece var olan bir özelliği şeklinde yüceltilir. Ancak, eğer yeniden normalleşebilirlik belirmiyorsa, o halde açıklama gerektirir, çünkü mucizevidir ve fizikteki iyi temel kurallardan biri mucizevi şeylerin sadece bir sebebinin olmasıdır. Dahası, vakumun hal geçişlerine yakın olduğu bilinir. Çeşitli doğa güçlerinin birbirinden farklılaştığı bir hal geçişleri hiyerarşisinde vakumun ortaya çıktığına dair sayısız deneysel işaret vardır. Bu güçlerden elektromanyetizmayla zayıf çekirdek gücü arasındaki ayrımla ilişkilendirileni, modern evrenbilimin merkezindedir, zira bu meydana geldiğinde açığa çıkan enerji, büyük patlamayı takip ettiği varsayılan kısa hızlı genişleme süresinin şişmesinin görünürdeki güç kaynağıdır. Eğer vakumun yeniden normalleşebilmesi hal geçişlerine yakınlıktan kaynaklanıyorsa, o halde nihai bir kuram arayışı iki açıdan başarısızlığa mahkûmdur: Onu bulsanız bile hiçbir öngörude bulunmaz ve yanlışlanamaz.

Karanlık Sonuçların iş ve ekonomi için de önemli ve rahatsız edici sonuçları vardır. Bu açıkça ele alınması güç bir konudur, çünkü şu ya da bu faaliyetin yanıltıcı veya hileli olduğunu söylemek dava sebebidir, bu yüzden onu alegorik olarak açıklayacağım. Gerçek insanlar ya da durumlarla

* Renormalizasyon –yn.

herhangi bir benzerlik tamamen tesadüfidir. Bir şeyi öngördüğünü iddia ettiğim bir program yazdığımı farz edin. Size altında yatan denklemleri (bir başka deyişle kodun görünürde ne yaptığını) söyler, ama onları hangi yöntemle çözdüğümü söylemem. Bu denklemleri doğru biçimde çözmenin sadece yeterince zeki olmakla ilgili olduğunu ve sizin gibi yeterince zekâ bahşedilmemiş zavallıların bunu yapamayacağını iddia ederim. Bu hakaret nedeniyle öfkelenir ve gidip bu denklemleri sizin yönteminizle çözen bir program yaparsınız. Ama ne yazık ki doğru sonucu bulmak için aylarca uğraştığınız halde sadece benim sonucumu bulamamakla kalmaz, yaklaştırma planını nasıl uyguladığınıza bağlı olarak *değişen* sonuçlar alırsınız. Kodunuzu doğru yazdığınızdan eminsinizdir ve düpedüz yalan söylediğimi fark edersiniz, çünkü denklemler istikrarsızdır. Hatta görünürdeki öngörünün aslında gerçeklerle sonradan eşleştirildiğinden, tamamen uydurma olduğundan şüphelenmeye başlarsınız. Açıkladığım denklemler programımın yaptığı şeyi tarif etmek için yeterli değildir, yalnızca özel zihinsel güçleri olanların onları çözebileceği de doğru değildir. Onları hiç kimse çözemez! Fakat bunu kanıtlamak en başta denklemlerin çözülemez olmasıyla aynı sebepten olanaksızdır, yaptığım şeyi doğru olup olmadığını anlamak için kontrol de edemezsiniz, çünkü kişiye özeldirler. Böylece yenilgiye uğrarsınız. Yapabileceğiniz en fazla bir "teknolojiye" sahip olduğunuzu ve bunun bir şeyi benimkinden farklı yaptığını ve farklı bir pratik uygulamasının olduğunu söyleyen bir makale ya da patent yazmaktır.

Duruma olumlu bir açıdan bakmak için istikrarsız fiziksel sistemlerin ekonomik bakımdan önemli olduğunu, çünkü bir şeyin kendisini açığa çıkarmayan o şeyin, temellerini açığa çıkarmamıza izin verdiklerini söyleyebiliriz. Bu kişinin rakiplerini aldatması, belki de onlar pahasına pazar payı kazanması için iyidir, ama kişi bunun Mel Brooks filmi *Spaceballs*'taki Yogurt karakterinin "daha çok para kaynavı" dediği şeyden fazlası olduğunu düşünerek kendini kandırmamalıdır. Ne yazık ki aynı zamanda bir altın testisi kova-

ladıklarını zanneden, ama aslında bir gökkuşağı kovalayan bilim insanlarının hayatlarını yok edebilir.

Böyle şeyler söylediğim için çok popüler olmadığım hayal edilebilir, ama umurumda değil. Hedef gösterilip nefret edilmek, ödlekle olup çok sevmeye yeğdir. Zaten ben de ilgisizlik sunağında çok şey kurban ettim, dolayısıyla neden bahsettiğimi biliyorum. Ama hâlâ tatmin olmamış olanlar için, kendime benzeyen küçük Karanlık Lord bebekleri satıyorum. Bunları satın alıp ne istiyorsanız yapabilirsiniz. Bir ipi çektiğinizde bebek "Schwartz sizinle olsun," diye ciyaklar. Çok sevimlidir.

(On Üç)

HAYATIN İLKELERİ

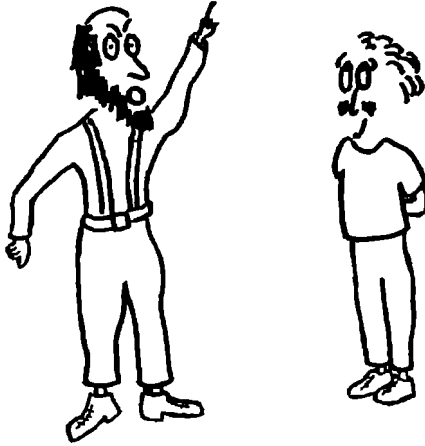
Bir insanı doğaya döndürerek –onu taşlarla, bitkilerle ve hayvanlarla bir tutarak– de onu bir makineye çevirerek olduğu kadar insanlıktan çıkarırsınız. Hem doğal hem de mekanik olan şeyler, benzersiz biçimde insan olan şeyin tersidir. Doğa kendi kendini yapmış bir makinedir ve bütün otomatik makinelerden daha kusursuz bir otomasyona sahiptir. Doğanın görüntüsünde bir şey yaratmak, bir makine yaratmaktır ve insan, doğanın iç işleyişini öğrenerek makineler inşa eder olmuştur. İnsanın, hayvan ve bitkileri evcilleştirdiğinde; yiyecek, güç ve güzellik üretimi için kendi kendini oluşturmuş makineler edindiği ortadadır.

Eric Hoffer

Bilgisayar şirketi yöneticilerinin hayat hakkında kestiği ahkâmlardan daha yürek ısıtıcı hiçbir şey yoktur. Artık dot-com balonu* patladığı için bunları eskiye göre çok daha az duyuyoruz, ama hâlâ insanların zihinlerinde duruyor ve yeneden yüzeye çıkıp sizi paranızdan etmek için fırsat kolluyorlar. Şüphesiz ki bilgisayar emperyalizminin daha az hırslı versiyonları hiç kesilmedi ve pazar hâlâ büyükler için zamanı yiyip bitiren oyuncaklarla dolup taşıyor; bu arada dünya çapındaki bilgisayarlar da "teknoloji" (bilgisayar programlarının gazeteci dilindeki karşılığı) hakkında ardı ardına haberler yayınlıyor. Ama bilgisayarların hayata uygulanması kendi başına bir sınıflandırmadır. Bilgisayar uzmanlarının bu konudaki rezil küstahlığı bana bilimkurgu

* ABD'de 1995 ile 2000 arasında internet ile ilgili ürünlerde yaşanan aşırı değer artışı –çn.

yazarı Robert Heinlein'ın bir cümlesini hatırlatıyor: Bir sirkiniz olacaksa, fillerinizin olması *şarttır*.



Bilgisayar şirketi yöneticilerinin hayat hakkında kestiği ahkâmlardan daha yürek ısıtıcı hiçbir şey yoktur.

Hayatı fiziksel bir perspektiften ele almak özellikle eğlencelidir, çünkü o kanunun belirmesinin en aşırı durumudur. Hatta bütün belirme fikri biyologlar tarafından neden canlıların bazı yönleri (örneğin bazı bakterilerin çubuk benzeri şekilleri ya da tavşanların tilkilerden kaçma eğilimi) dengeli ve tekrarlanabilir iken onların temelini oluşturan mikroskobik kimya kanunlarının rastgele ve olasılıkçı olduğunu açıklamak amacıyla icat edildi. Ara ölçekli kimyada böyle şeylerin bir sürü örneği vardır –jeller, kristallerin yüzey yapısı ve benzerleri– ama hepsinin atası insanlar gibi büyük organizmaların işlemesidir.

Hayatın ortak paydalarından biri güçlü bir deja vu deneyimidir. Kısa süre önce bir moleküler biyoloji seminerinin ortasında büyük bir deja vu yaşadım. Altı bin mesajcı RNA türünün seviyelerinin küfün hücre döngüsü boyunca yukarı aşağı gittiği (ya da gitmediği) dev bir PowerPoint sunumuydu. Bu, bitmek tükenmek bilmemesinin yanı sıra fazlasıyla çileden çıkarıcıydı; zira hücrenin temel düzenleyici me-

kanizmasında bir bakış sundukları düşünülse de kimse bu ölçümlerin neden bu değerleri aldıklarını, bir sinyalin sonrakisiyle kaba bağıntılarının ne demek olduğunu, hatta bu ölçümlerde herhangi bir yararlı bilgi olup olmadığını bilmez.¹ Yine de 1970'lerde katıldığım, silisyum dioksitteki renk merkezleriyle ilgili, örneğin maruz bırakıldığı çeşitli şiddet türlerine tepki olarak optik soğurma özelliklerinin yukarı aşağı değişmesini (ya da değişmemesini) izlediğim bir seminere geri döndüm. Konu farklı, deneysel teknik de çok daha kabaydı, ama mantık tastamam aynıydı. O zaman mesele hayatın mekanizması değil oksitteki silisyum mikro devreler için oldukça zararlı olan kimyasal ve yapısal kusurlardı. Neyse ki bunlar kolayca tespit edilirler, çünkü bunun dışında saydam malzemelerdeki oldukça saydam ışık soğuruculardır, bu da çoğu kayanın saydam değil renkli olmasının sebebidir. Aynı zamanda dönüş rezonansı sinyallerinin, yani malzemenin bir manyetik alana yerleştirildiğinde bazı son derece özel radyo dalga boylarında enerjiyi soğurma kabiliyetinin kaynağıdır. Çalışmanın amacı optik soğurma özellikleriyle dönüş rezonansı sinyalleri arasında bağıntı kurmak, böylece hangi kusurun hangi sinyale yol açtığını anlamaktı. Ama ya- lıtılıp tek tek incelenemeyecek kadar çok kusur olduğu için strateji örneği "karıştırmak" –örneğin günlerce bir fırında pişirerek ya da bir günlüğüne bir nükleer reaktöre yerleştirerek– ve ne olduğunu görmektir. Biyolojide benzeşen deney küfü zehirlemek ya da neredeyse ölecek kadar aç bırakmak olurdu. Böylece bir ya da iki optik sinyalin karşılık gelen dönüş sinyalleri olarak aynı anda büyüyeceği, böylece onlara aynı kusurun atanabileceği ümit ediliyordu. Elbette sonuçta ortaya çıkan tam bir curcunaydı. Her şey değişiyor ve diğer her şeyle bağıntıya giriyordu. Bu Bloomingdale'de %90 indirimli satış olduğunu açıklayarak satış katını "karıştırmak" gibiydi. Müthiş etkiler vardı ve kuramcılar çılgına dönerek gerçeklerle uyumlu, ama birbirinden geceyle gündüz kadar farklı çeşit çeşit olası açıklamalar ileri sürüyorlardı. Ama bu

¹ Bu konuya bir giriş için bkz. M. Schena, *Microarray Analysis* (Wiley-Liss, New York, 2002).

görüş çeşitliliği o zaman olduğu gibi bugün de sadece kötü tasarlanmış, soruya cevap veremeyecek bir deneyin göstergesidir.

Maalesef kötü deneylere yüksek seviyeli bilimde çok rastlanır. Bunun altında yatan sebep karmaşık bir şeyin çalışma şeklinin ayrıntılarını açıklığa kavuşturmanın hem zor hem de zaman alıcı ve zahmetli, dolayısıyla masraflı olmasıdır. Ekonomik gerçekler böyle olduğu için, neredeyse her zaman kimsenin takdir etmediği işi yapmayı başkasına bırakıp kendi programını potansiyel olarak iyi karşılık getirebilecek ucuz deneyler içerecek şekilde planlamak daha akıllıcadır. Bu ekonomik temelleri göz ardı etmek özellikle ticari faaliyetlerde ölümcül olabilir. Eğer Boeing neden hava moleküllerinin toplu halde hidrodinamiği oluşturduğu hakkında endişelenmeye başlasaydı, açıkça Boeing hisselerini elden çıkarma zamanı gelmiş olurdu. Ama gen transkripsiyonu gibi aşırı durumlarda, kimsenin takdir etmediği işi hiç kimse yapmayabilir ve disiplin daha sonra doldurulacak (eğer ki doldurulursa) bir mantıksal boşlukla kalakalır. Mikroskobik kanunla sofistike yüksek seviyeli davranış arasındaki tutarsızlık, özellikle hayat araştırmalarında, bilim yapma biçimimizin içine işlemiştir.

En çok aşına olduğum kötü deney etkisi, biyolojide değil nükleer silahlardadır. Livermore Laboratuvarında çalıştığım günlerde, arada bir, uzun süredir nükleer tasarım kodlarıyla çalışmış ve onlar hakkında anlatacak eğlenceli hikâyeleri olan insanlarla karşılaştım. Bu kodlar açıklamakta serbest olmadığım bir sürü kısım içerir, ama kabaca bir hücrenin işleyişine benzerdirler, yani çok büyük ölçekte hiyerarşiktirler: Önce şunun olması gerekir, sonra bunun, sonra onun, sonra şu iki şeyin sıkı bir zamanlamayla onu yapması gerekir, vesaire. Bunlar son derece iyi insanlardı, bu yüzden anlattıkları hikâyeler hep ciddi ve kalıcı olurdu ve istisnasız çok komik olurdu. Hikâyeler kişinin uzmanlık alanındaki bir hatayı konu alırdı, ki bu hata kişiden kişiye farklı olur, ayrıca işlevsel olarak düzeltilemez olurdu; zira tasarımcılar sorunun önemli olduğunu düşünmez ve gerekli düzeltmeyi

onaylamazlardı. Dahası, hata asla küçük bir ayrıntı olmaz, aksine termodinamiğin ikinci kanununun bir ihlali ya da enerjinin hiç kayıpsız açığa çıkması olurdu; yani insanı su sebilinin yanında çığlıklar atarak gülmeye ve Dilbert'e ilham verici atıflar yapmaya iten türden bir şey.

Fakat bu hikâyelerden yeterli sayıda dinledikten sonra bu çılgınlığın kişisel beceriksizlik değil, bu disiplinin kendisine içkin sosyolojik bir olgu olduğunu fark etmeye başladım. Mühim olan kodların kişiyi önemli sonuca, patlamaya yönlendirmesiydi, bunu mantıklı bir biçimde yapması değil. Kodlar geçmişteki bazı testlerin büyük ölçekli sonucuyla uyuyacak şekilde ayarlanmıştı ve değiştirildikleri takdirde doğru işlemeyeceklerdi (bir başka deyişle o testlerle uyuşmayacaklardı). Kodlara içkin olan kuramların doğruluğunu kontrol etmek amacıyla nükleer silahların içine bakacak deneyler hiç yapılmamıştı ve muhtemelen asla yapılmayacaktı. Bir kere, böyle deneylerin yapılması aşırı derecede zor olur, çünkü ortam bayağı ısınır ve ölçüm aygıtı buharlaşmadan sinyali dışarı göndermek için fazla zaman olmaz. Ama gerçek sebep, ayrıntılara büyük bir özen göstererek tekrar tekrar yapılmalarının gerekmesi, bunun da çok pahalıya çıkacak olmasıdır. Neyse ki (ya da bakış açınıza bağlı olarak ne yazık ki), elverişli enerjinin çok bol olması nedeniyle nükleer tasarımda geniş hata payları vardır. Birçok mühendislik konusunda olduğu gibi "doğru" kavramı deneysel gerçeklikle –özellikle bir grup akademisyenin tanımladığı deneysel gerçeklikle– değil iş ihtiyaçlarıyla belirleniyordu. Bombalar patladığı sürece termodinamiğin ikinci kanunu ihlal edilse de olurdu. Görünüşe göre asıl yüzüne gülünenler bizdik.

Kötü deney dinamiği silisyum dioksit kusuru sorununda da iş başındadır. Bütün o kusurları sınıflandırmayı içeren sofistike akademik gündemin ardında, yarı iletken imalatında kusurların nasıl ortadan kaldırılacakları gibi basit bir soru vardı. Daha sonra mühendislik toplulukları eski ve bilindik Edison deneyciliğini kullanarak kendi sorularına kendileri cevap verdiler. Yarı iletken imalatındaki kusurların bir istisnası sinyalleri kusurlarda depolayan, dolayısıyla kasıtlı

olarak kusurlu üretilen flaş bellek oksididir. Bunları oluşturacak özel kusurlar ve teknikler ise ticaret sırrıdır.²

Fakat küfteki mesajcı RNA deneyi özellikle önemli türde bir kötü deneydir, çünkü genetikçilerin ne yaptıklarını bilmediklerini açıkça gösterir. Öfke çılgınlıklarını ve diğer kızgınlık dolu tepkileri duymazdan geleceğim: Feci bir deneyi gördüğüm anda tanırım. Belirtiler her zaman aynıdır. Ölçümler tekrar etmez, sağduyulu analize uygun değildirler ve nicelemezler. Canlı varlıkların bu bakımdan cansız varlıklardan temel olarak farklı olduğu iddiası yanlıştır. Biyolojide gayet iyi nitelenebilen bir sürü şey vardır: ribozom genetik kodu, DNA kopyalanmasının doğruluğu, proteinlerin kristal yapıları, kendi kendini yapan virüs parçalarının şekilleri, hatta sıçanlar ve insanlar gibi daha yüksek organizmaların sofistike davranışları. Gerçek şu ki, genleri hayata dönüştüren kontrol mekanizması anlaşılmış değildir, bunun kilit sebeplerinden biri de böyle bir anlayışa ulaşmanın yanına yaklaşamaz derecede pahalıya çıkacak olmasıdır.

Biyoteknoloji uzmanları, çoğu zaman yaptıkları şeyin ne şaşırtıcı ne de kaza eseri olduğunun farkındadır. Önceki bir dönemin yarı iletken fiziği gibi biyoloji de artık bilimden çok kârlı mühendisliğe doğru evrilmiştir. Çoğu insan bu ayrımı etiket değişiminden ibaret sanır, ama bu aslında bir tektonik kaymadır, çünkü bilimle mühendislik arasında çok merkezi bir fark vardır: Bilimde insanlara bildiklerinizi anlatarak güç kazanırsınız; mühendislikte ise insanların bildiklerinizi bilmesini *engellleyerek* güç kazanırsınız. Mühendislikte kronik kafa karışıklığı ve cehalet istisna değil kuraldır, bunun basit sebebi de entelektüel mülkiyet gerekçesiyle herkesin bilgilerini diğer herkesten gizlemesidir. Yaşadığım Silikon Vadisinde teknik aldatmaca ve blöf hem yaygındır hem de beklenir, ayrıca kişinin deneysel yatırımlarında, özellikle aşırı pahalı olanlardaki zayıflığı kabul etmesinin ekonomik intihar demek olacağı evrensel olarak anlaşılır. Biyotekno-

² Flaş bellek son zamanlarda USB bellek çubukları biçiminde büyük bir popülerite kazandı. *Bkz. P. Cappellelti vd., Flash Memories* (Kluwer, Amsterdam, 1999).

lojinin mühendislik deneyi, hayatı anlamak değil ilaçlar tasarlamak, yeni sağlık terapileri icat etmek ve tarın için yeni yapay organizmalar yaratmaktır. Bu amaçlar için düzenleyici süreçlerin doğru kuramlarından çok kimyasal manipülasyonu motive eden kaba, basit fikirler önemlidir. Hücrelerin düzenleyici mekanizmasını hiç anlamadan AIDS'in kontrolü için proteaz inhibitörleri tasarlamının,³ kök hücreleri kandırarak yedek vücut parçaları oluşturunun⁴ ve pirincin içine bir alfa-karoten geni sokmanın⁵ mümkün olduğu anlaşıldı. Hatta kanser temelde hücre düzenlemesinin bir bozukluğu olmasına rağmen etkili kanser tedavileri icat etmek bile mümkündür, çünkü amaç kanseri anlamak değil öldürmektir. Ama bu çarpıcı teknik başarıların altında manipüle edenlerin aslında ne yaptıklarını bilmiyor oldukları gibi bilimsel bir açık uç vardır.

Tam da Mary Shelley'i *Frankenstein*'i yazmaya sevk etmiş olan bilimin yanılabilirliğinin, yani insanların bir şeyi aslında anlamadıkları halde anladıklarına inanma eğiliminin, mali sebeplerle ana akım haline gelip kabul edilebilir olmasını son derece ironik buluyorum.⁶ Bu Oscar Wilde'ın para yokluğunun bütün kötülüklerin anası olduğuna dair gözlemini akla getiriyor. Bayan Shelley'in romanının bugün yazılısaydı nasıl olacağı hayal edilebilir. Victor Frankenstein Cenevreli, huzursuzluk içindeki zeki ve asosyal bir adam

³ Proteaz inhibitörleriyle ilgili devasa bir literatür vardır. Örneğin bkz. R. C. Ogden ve C.W. Flexner, editörler, *Protease Inhibitors in AIDS Therapy* (Marcel Dekker, New York, 2001).

⁴ Kök hücresi araştırmaları son derece tartışmalıdır, bu yüzden de şu anda gündemdedir. Ulusal Sağlık Enstitüleri perspektifinden yapılmış kapsamlı bir anket kurumunun internet sitesinde mevcuttur: *Stem Cells: Scientific Progress and Future Directions*, <http://www.nih.gov/news/stemcell/scireport.htm>.

⁵ Bu, ünlü altın pirinçtir. Bkz. M. L. Guerinet, *Science* 287, 241 (2000); X. Ye vd., *Science* 287, 241 (2000). Bu özel biyoteknoloji ürününe politik bir muhalefet yoktur. Bkz. <http://www.biotech-info.net/golden.html>.

⁶ M.W. Shelley, *Frankenstein, or the Modern Prometheus* (Palgrave Macmillan, New York, 2000). Bu hayranlık uyandırıcı roman hakkında çok fazla şey yazıldı. Bkz. M. Spark, *Mary Shelley* (Meridian, New York, 1988); <http://www.kimwoodbridge.com/maryshel/essays.shtml>; <http://home-1.worldonline.nl/~hamberg>.

değil, Virginia'nın Alexandria kentindeki Thomas Jefferson Bilim ve Teknoloji Lisesinden mezun genç, girişimci bir istenmeyen e-posta vurguncusu olurdu. Victor –Princeton'da tenis ve kadınlar üzerine araştırma yaptığı dört yıllık bir ara verdikten sonra– son derece yaratıcı cerrahi tekniklerini öğrenmek için Igolstadt'a gitmek yerine Boston'a gidip Harvard Tıp Okuluna kaydolurdu. Canavarı gizlice yapmak yerine siyasi bağlantılarını kullanarak Ulusal Sağlık Enstitülerinden muazzam bir hibe alır, sonra Bethesda'da dükkân açar ve devasa bir ilk halka arzla uçuşa geçerdi. Yarattığı varlığı kötölemek yerine yenilikçi tekniklerini öven ve yeni bir uzun yaşam kliniğinin açıldığını duyuran afişlere yazardı. Canavar ise zincirleme cinayetler işlemeyi yeterince yok edici olmadığı için bir kenara iter, bunun yerine çok satan bir ucuz roman yazar, Oprah'a çıkar ve California valiliğine aday olurdu. Victor da Kuzey Kutbundaki buz kütlelerinde ölümü seçmek yerine avukatları Menkul Kıymetler Komisyonundan gelen o işgüzar görevlileri def eder etmez Palm Springs'te ahlaki ve mali olarak dertsiz bir emekliliğe başlamayı iple çekerdi.

Önemli bilimsel gerçeklerle ilgili cehaleti hoş görme modası, kötü yürekli bilim insanlarının üç başlı bebekler yapmak ya da hepimizi birkaç haftada öldürebilecek hastalıklar yaratmak gibi zarar verici şeyler vermesini önlediği için bazı çevrelerde el üstünde tutulur. Elbette gerçekten önleyip önlemediği tartışmalıdır. Şu anda dünyanın dört bir yanındaki laboratuvarlar rutin olarak maymunlar ve çiftlik hayvanları ve muhtemelen gizlice insanları da kopyalıyor. Devletler askeri amaçla sürekli olarak ölümcül organizmalar yaratıyor. Bunu yapmanın ne kadar kolay olduğunu Ron Jackson ile Ian Ramshaw'ın 2001'de kaza eseri yaratarak büyük ün kazandığı ölümcül fare hastalığı açıkça göstermişti.⁷ Gerçek-

⁷ R. J. Jackson vd. *J. Virol.* 75, 1205 (2001). Rekombinant yöntemlerle kaza eseri ölümcül bir fare hastalığı virüsü yaratılması biyoteknolojinin tehlikeleri ve güçlü bilgi gizleme kurallarına duyulan ihtiyaçla ilgili hummalı bir toplumsal tartışma başlattı. *Bkz.* J. Cohen, "Designer Bugs," *Atlantic*, July–August 2002, s. 113. Kısa süre önce St. Louis Üniversitesinde Profesör Mark Buller başkanlığındaki bir ekibin deneyi tekrar etmesiyle

ten hayatı anlamının potansiyel tehlikesi giderek biyolojik bilgilerin yayılmasını düzenleyecek yeni, güçlü kanunlar çıkarmak için bir gerekçe olarak gösterilmeye başladı.

Sınıflandırma sansürcülerinin yaşam bilimlerinin üstüne çullanmasını izlemek bir başka déjà vu deneyimi olup birçoğumuzu nükleer fiziğin halka açık kayıtlarının silindiği zamana geri götürdü. 1954 tarihli Atom Enerjisi kanunu "atom enerjisinin geliştirilmesi, kullanımı ve kontrolü dünya barışını destekleyecek, genel refahı iyileştirecek, yaşam standardını artıracak ve özel teşebbüste serbest rekabeti güçlendirecek biçimde yönlendirilecektir" şeklindedir. Bunun anlamı, doğa hakkındaki bazı gerçekleri halka açıklamanın, hatta hangi gerçekleri açıklayamayacağınızı belirtmenin artık ağır suç olmasıdır. Bütün bir bilgi kitlesi adeta tipeksle silinmiştir. Fakat şu anki imha kampanyası elli yıl önceki-ne göre daha da azimlidir, zira çağımızın nükleer teknolojisi olan biyolojik silahlar üretim vasıtasıyla kontrol edilemez. Pahalı ve elde edilmesi zor olan nükleer yakıtın aksine, genler birkaç dolara değiştirilebilir. Fakat bütün bu kitap yakmanın oluşturduğu güvenlik hissinin hayali olduğu neredeyse kesindir. Edward Teller bile bilimsel gizliliğin etkisiz olduğunu, çünkü uzun vadeli sonucunun bilgiyi onu barışçıl şekilde kullanabilecek insanlardan gizlemek, ama casusluk yoluyla edinmeye kararlı kötü kişilerden gizleyememek olduğunu ileri sürmüştü.⁸ Bu iddia Livermore'da yıllar boyunca dinlediğim anekdotlar vasıtasıyla diğer ülkelerin nükleer silah programları (henüz bu silahlara sahip olmayan ülkelerinki dâhil) hakkında öğrendiklerimle uyumludur. Örneğin Irak'taki silah denetçilerinden biri olan iş arkadaşım Jay Davis orada nükleer silahlara erişmenin "bir sorun olmadığını" bildirmişti.

Mühendislik üzerindeki ekonomik baskıların ve bilginin içkin tehlikesinin altında çok ilginç bir sebep sorunu yatar.

fare hastalığı hikâyesi dehşet verici bir hal aldı. Bkz. W. J. Broad, "Biotechnology Researchers Build a More Lethal Mousepox," *New York Times*, 1 Kasım 2003.

⁸ Bkz. E. Teller ve J. Shoolery, *Memoirs: A Twentieth-Century Journal of Science and Politics* (Perseus Press, Cambridge, Massachusetts, 2002).

Eğer dünya çapında gen düzenlenmesinin anlaşılmasını önleme amaçlı bir komplo yoksa (ki olduğuna dair hiç kanıt görmüyorum), insan bunun anlaşılmasının *neden* bu kadar zor olduğunu merak eder. Genlerin proteine çevrilmesinin iki adımı vardır: DNA'nın mesajcı RNA'nın içine transkripsiyonu, sonra da bu RNA'nın proteine çevrilmesi. İkinci adım tamamen belirlenimci ve basittir, çünkü RNA'nın ribozoma, proteini üreten küçük makineye gönderdiği bir avuç kontrol komutundan ibarettir. Çok sayıda deney ribozomun talimatlarını akılsızca okuduğunu ve ona söyleneni yaptığını ortaya koymuştur. Ama doğa transkripsiyon talimatlarını çok daha esnek ve kavranması zor yapmayı tercih etmiştir, öyle ki uzmanlar onların ne oldukları konusunda bile anlaşmaya varamazlar. Doğanın neden böyle yaptığı bilinmiyor, ama sebep oldukça önemli olmalı, çünkü herhangi bir organizmada bilinen bir istisna yoktur. Dünya çapındaki mikrodizilim deney bütçesinin müthiş boyutu (yılda yaklaşık bir milyar dolar) sorunun ne kadar çetrefilli olduğunu gösteriyor.⁹

Philip Anderson, bu türden durumlarla şanssız bir detektifin çevresinde insanlar sinek gibi ölürken iz sürdüğü bir cinayet romanı arasında son derece iğneleyici bir benzerlik kurar. Detektif ufak ayrıntılara o kadar kafayı takmıştır ki en büyük ipucunu, odanın ortasındaki giderek büyüyen ceset yığınına sürekli ayağı onlara takıldığı halde göremez. Bu du-

⁹ cDNA dizilerinin dünya çapındaki en büyük tedarikçisi olan Affymetrix Corporation'ın <http://biz.yahoo.com/e/010515/affx.htm> adresinde bulunan yıllık raporundan milyar dolarlık bir tahmin elde ettim. Rapor, yakın zamanda satışlardan elde edilen kârı, yılda yaklaşık 200 milyon dolar olarak belirtiyor. Bu sayının aynı zamanda çip cinsinden net satış olduğunu varsaydım; zira diziler, şirketin en büyük hacimli satış kalemidir ve neredeyse tamamen kârdır. Bunların piyasa fiyatı değişkenlik gösterir, ama 1000 dolar civarında olduğu belirtilmektedir. (Bkz. <http://www.research.bidmc.harvard.edu/corelabs/genomic/default.asp>.) Bu, yılda 200.000 gen çiplik bir satış, dolayısıyla 200.000 deney haline gelir. İşgücü, laboratuvar maliyetleri ve genel giderler eklendiğinde, bu deneylerin herbirinin 50.000 dolara mal olduğunu tahmin ediyorum. Bağımsız bir kontrol olarak 2001 yılı için NIH bütçesinin 19 milyar dolar olduğunu, bunun %81'inin harici araştırmalar olduğunu not düşünüyorum. Bu, dizi çalışmalarının toplam harici harcamanın yaklaşık %7'si olduğu anlamına gelir, o da makul bir tahmindir.

rumdaki büyük ipucu –Sherlock Holmes’un gece havlamayan köpeği– sorunun çetrefilliliğinin kendisidir.¹⁰ Bu inatçılığın, özellikle evrenselliğinin, tamamen aşıkâr bir açıklaması, bir örneği transkripsiyon olan biyolojik düzenlemenin toplu kararsızlık fiziksel ilkesinden yararlanması, dolayısıyla *içkin olarak* Karanlık Sonuçlar bölgesinde olmasıdır. Bu fikir benden çıkmadı: Biyolojide kendi kendini düzenleyen kritiklikle ilgili yakın zamanda çıkmış bir dizi kitapta yer almaktadır, bunlardan en önemlileri Stuart Kauffman’a ait olanlardır. Fakat benim versiyonumun biraz farklı bir yönü var, zira deneysel kafa karışıklığının kendisini kilit bir etki olarak tanımlıyor ve gen düzenlemesinin tamamen tündengelimli bir mikroskobik anlayışının en azından günümüzdeki deney stratejileriyle temelden imkânsız olabileceğini ima ediyor. Toplu kararsızlık kuramların öngörü gücünü ve yanlışılanabilirliğini yok edebilen bir İlgililik Engeli oluşturur, ayrıca Hilekâr Hindi Etkisi vasıtasıyla, insanları yanlış biçimde durumlar için açıklamalar bulduklarını düşünmeye sevk eder; oysa aslında bulamamışlardır. Bir diğer deyişle, hayatın mekanizması tam da işlevinin merkezinde yer alan fiziksel ilkeler tarafından erişilmez kılınır. Durum böyle olduğu için, yasa koyucular ya da bürokratlar değil, doğanın kendisi sansürcüdür.

Toplu kararsızlığın düzenleme kontrolüyle ilgililiği biraz sezgilere aykırıdır, bu yüzden daha ayrıntılı olarak açıklayacağım. Bir uçak otomatik pilotunu düşünün.¹¹ Çoğu uçak, sabit biçimde uçacak şekilde tasarlanmış olsa da, küçük, ani rüzgârlardan etkilenecek rotadan sapabilirler. Otomatik pilot geri beslemeyi kullanarak bu hataları düzelterken bir robottur. Uçaktaki jiroskoplar uçağın yönünün değiştiğini tespit eder ve tepki olarak küçük elektrik sinyalleri oluştururlar. Sonra bu küçük sinyaller güçlendiricilere beslenir, onlar sinyalleri büyük sinyallere çevirir, büyük sinyaller de kontrol yüzeyle-

¹⁰ Havlamayan ünlü köpek Arthur Conan Doyle’un “Silver Blaze” hikâyesinde yer alır. Bkz. A. C. Doyle, *Complete Sherlock Holmes* (Doubleday, New York, 2002).

¹¹ Bir otomatik pilot geri besleme kontrolünün özel bir örneğidir. Bkz. S. Skoestad, *Multivariate Feedback Control* (Wiley, New York, 2005).

rini harekete geçirerek hatayı düzeltir. Güçlendirici can alıcı bileşendir, çünkü hareket detektörlerinin algıladığı küçücük büyük, hantal kontrol yüzeylerini hava akışına itmek için fazlasıyla güçsüzdür.¹² Ama bu güçlendirici dengesiz öğedir. Küçük sinyalleri büyük sinyallere çevirmek fiziksel olarak küçük uyarıcılara şiddetle tepki vermekten farksızdır. Güçlendiricinin değişkenliği normalde görevi otopilotun düzgün çalışmasını sağlamak olan tasarımcı tarafından kontrol altında tutulur, ama birkaç yerinden çıkmış tel ya da hatalı bağlantı onun titreşerek kontrol dışı kalmasına ve dümeni tamamen çevirerek uçağa kaza yaptırmasına neden olabilir. Bu etkiler bir hücredeki bir avuç küçücük genetik kusurun vücudunuzun düzenleyici mekanizması vasıtasıyla güçlenip sizi öldürdüğü bir hastalık olan kanserin mekanik benzerleridir. Otomatik pilotlardaki güçlendiriciler transistörlerden, solenoidlerden, hidrolik valflerden vesaire yapılı; ama bunun tek sebebi, bu özel bileşenlerin ucuz olması ve kolayca kullanılmasıdır. Başka herhangi bir dengesiz fiziksel sistem de aynı işlevi görürdü. Özellikle iki ya da daha fazla örgütlenme durumu, örneğin iki kristalli düzen türü, iki manyetizma türü ya da iki kimyasal reaksiyon düzeni türü arasındaki sıkı rekabet kullanılarak, güçlendirmedeki karışıklıklara yönelik şiddetli hassasiyetin oluşturulabileceği hayal edilebilir. Bir başka deyişle, toplu kararsızlık doğanın güçlendiricisidir. İşlevsel bir açıdan doğal olarak meydana gelen toplu kararsızlıkla bir elektronik mağazasından alabileceğiniz ucuz bir güçlendirici yonganın davranışı arasında hiç fark yoktur.

Güçlendirme kararsızlığı özellikle zararlı ve etkili bir bilimsel kafa karışıklığı yaratıcıdır, çünkü deneyler kaba olduğunda bir serap gibi kaybolma eğilimindedir. Otomatik pilot işlediği, uçak rotaya kilitli kaldığı zaman uçağın davranışı altta yatan güçlendirme kararsızlığından hiçbir iz taşımaz. Ancak kişi nasıl işlediğini görmek için uçağı parçalarına ayırma girişiminde bulunduğunda güçlendiriciyi keşfeder.

¹² Güçlendiricilerin bir açıklaması için bkz. S. Franco, *Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits* (McGraw Hill, New York, 1997).

Bu bakımdan en sevdiğim fizik problemi olan yüksek sıcaklık süperiletkeni gibidir. Süperiletkenin davranışı uçağın davranışı gibi tamamen anlaşılırdır, ama parçalarına ayırdığınızda karmaşıklık ve karışıklıkla dolu bir Pandora kutusu bulursunuz. Bu karmaşıklığın en azından bir kısmı civardaki bir hal değişimine yakınlıktan ve eşlik eden Karanlık Sonuçlardan kaynaklanır.

Bu sonuçların canlı varlıklarda iş başında olup olmadığı bilinmiyor, ama sadece olduklarını ileri sürmenin bile deneysel biyoloji için son derece rahatsız edici içerimleri vardır. Deneyinin anlamlı olduğunu göstermek için ispat zorunluluğunu bilim insanına yükler; bu, şu anda yaygın olarak yapılan bir şey değildir, hatta biraz onursuzluk olarak görülür; zira önce ölçüp sonra sorular sormanın, hatalı bile olmayan çok fazla miktarda bilgi oluşturma potansiyeli vardır. Bu deneyleri tekrar ve kontrol etmeme şeklindeki yaygın uygulamanın aleyhinedir, çünkü artık değişkenlik doğal olmak zorunda değildir, dengesizliğin bir belirtisidir. Politika-nın durumuyla fikir birliğine varılarak belirlenen doğruyu değersizleştirir ve fikir birliğinin sadece kutsallaştırılmış ve meşrulaştırılmış yanlışlık olması ihtimalini gündeme getirir. Tescilli gizliliği sahtekârlık için altın bir fırsata dönüştürür.

Ama en önemlisi, böyle sonuçların varlığı günümüzün biyolojik bilgilerinin büyük bölümünün ideolojik olduğuna dair endişeler yaratır. İdeolojik düşünmenin kilit bir belirtisi, içerimleri olmayan ve test edilemeyecek açıklamadır. Ben bu tür mantıksal çıkmazlara karşı-kuramlar adını veririm, çünkü gerçek kuramların tam tersi etkiye sahiptirler: Düşünmeyi canlandırmak yerine durdururlar. Örneğin Charles Darwin'in başlangıçta büyük bir kuram olarak ortaya attığı doğal seçimle evrim son zamanlarda daha çok utandırıcı deneysel eksikliklerin üstünü örtmek ve en iyi ihtimalle kuşku, en kötü ihtimalle yanlış bile olmayan bulguları meşrulaştırmak için kullanılan bir karşı-kuram işlevi görmeye başladı. Proteininiz kütle eylemi yasalarına uymuyor mu? Evrim yaptı! Karmaşık kimyasal reaksiyonlarınız tavuğa mı dönüşüyor? Evrim!



Karmaşık kimyasal reaksiyonlarınız tavuğa dönüşüyor.

İnsan beyni, hiçbir bilgisayarın taklit edemediği mantıksal ilkelerle mi işliyor? Nedeni evrim! Bazen konunun tartışmalı olduğunu, çünkü biyokimyanın gerçeklere dayalı bir disiplin olduğunu ve kuramların işe yaramadığını, hatta istenmediğini söyleyenler bile olur. Bu argüman hatalıdır, çünkü kuramlar deneyler oluşturmak için gereklidir. Biyolojide dünya kadar kuram vardır. Sadece bunlar açık olarak tartışılmazlar (ve iyice incelenmezler). Kuramsal önyargının reddi görünürde asilce olsa da, gerçekte asıl işlevi yanlışlığı ortadan kaldırmanın bir yöntemi olarak mantıksal tutarlılık gereksiniminden kaçınmak olan zekice gizlenmiş bir karşı-kuramdır. Bugünlerde sık sık kendimize evrimin bir mühendis mi, yoksa bir büyücü mü, daha önce var olan fiziksel ilkeleri keşfeden ya da yararlanan bir şey mi, yoksa mucizeler yaratan bir şey mi olduğunu soruyoruz, ama sormamalıyız. Bunlardan birincisi kuram, ikincisi karşı-kuramdır.

Toplu kararsızlık belirlediği için hangi ölçekte toplu örgütlenme ilkelerinin hayat için önemli olmaya başladığını sormak makuldür. Bu soruya kesin bir cevap vermenin imkânsız olduğu anlaşıyor, çünkü ara ölçeklerde belirme doğası gereği kötü tanımlanmıştır. Makroskobik belirme sertlik gibi evrensel, büyük örnek boyutu sınırında giderek kesin hale gelen bir şey olarak tanımlanır, belirme fikri de buradan gelir. Örgütlenme olgularının küçük ölçeklerde gelişmesini engelleyen hiçbir şey yoktur, ama genel olarak varlıklarını *ispat etmek* mümkün değildir, çünkü henüz kesin değildir.

Hem dengeli hem de dengesiz belirmerin tekil proteinler ölçeğinde zaten meydana geldiğini gösteren kayda değer ikinci derecede kanıt vardır. Bu konuda çok büyük ders kitapları yazılmıştır ve kendini adanmış okuyucuları kapsamlı bir tartışma için onlara yönlendirmeliyim.¹³ Örneğin proteinlerin büyük olması gibi basit bir gerçek, verimli çalışmak için mekanik sertliğe benzer bir şey, yalnızca büyük sistemlerde meydana gelen beliren bir özellik sergilemeye ihtiyaçları olduğunu ortaya koyar. Sertlik hakkındaki fikirlerin protein davranışına başarıyla uygulanmasının özel bir örneği, bir mitokondrinin çeperlerine gömülmüş rotoru ve statörü olan küçük bir elektrik motoru olan ATP sentazının işleridir.¹⁴ Bilinmeyen sebeplerle kimyasal reaksiyonlardaki olağan istatistiksel dallanma gereksinimine meydan okuyan DNA transkripsiyonu ve kopyalanmasının bütünlüğü de büyüklükle ilişkilidir. Kararsız güçlendirme fikri motor

¹³ Örneğin bkz. A. Fersht, *Structure and Mechanism in Protein Science: A Guide to Enzyme Catalysis and Protein Folding* (W. H. Freeman, New York, 1999) ve A. M. Lesk, *Introduction to Protein Architecture: The Structural Biology of Proteins* (Oxford U. Press, Londra, 2001).

¹⁴ Bu motorun ilk fikri, 1964'te Paul Boyer tarafından yayınlandı. Daha sonra parçalarından biri John Walker tarafından aydınlatıldı. İkisi bu enzimin işlevini çözdükleri için kimya dalında 1997 Nobel Ödülünü paylaştılar. Bkz. P. D. Boyer, *Angew. Chem. Int. Ed.* 37, 2296 (1998); J. E. Walker, *age.*, 2308. Enzimin mekanik doğasını onaylayan kilit bir deney Masasuke Yoshida tarafından yapıldı: Yoshida rotora aktin bir filaman iliştiirdi ve mikroskop altında döndüğünü gözlemledi. Bkz. H. Noji, R. Yasuda, M. Yoshida ve K. Kinoshita, Jr., *Nature* 386, 299 (1997); ve <http://www.res.titech.ac.jp>. Ayrıca bkz. H. Wang ve G. Oster, *Nature* 396, 279 (1998); ve H. Seelert vd., *ağge*. 405, 418 (2000).

proteinlerde, örneğin kasın aktin-miyosin kompleksinde ya da kinesinde¹⁵ ATP'nin bağlantıların mekanik enerjisine çevrilmesiyle, ayrıca iyon kanalı proteinlerinin ve hücre yüzeyi reseptörlerinin işleyişiyle¹⁶ ilişkilidir.

Ne yazık ki bu kanıtlar, tartışmanın o ya da bu yönde sonuçlanması için yetersizdir; bu da bir genom bilimi ya da protomik toplantısında sık sık karşılaşılacak tuhaf bir etkiyi açıklar: Konuşmacı tıpkı poker oynarken kartlardan rekabete dayalı psikolojiye geçermiş gibi indirgemeci fikirlerden toplu fikirlere pürüzsüz bir şekilde geçiş yapar. Böylece bir makaleyi sunan kişi atomlar için hayali hareket kanunlarına dayalı bir bilgisayar programı yazdığını, sonra bu programı altta yatan DNA sırasından proteinlerin şekillerini tahmin etmek için kullandığını bildirir. Bu stratejinin işe yaraması (kimi zaman yarar) o özel proteinin katlanmış yapısının hassas biçimde atomlar arası kuvvetlerin ayrıntılarına bağlı olmadığını gösterir, zira eğer bağlı olsaydı, kişinin *doğru* hareket kanunlarına *doğru* bir çözüm uygulaması gerekirdi. Ama bu aynı insanlara ya da bağış gözetimcilerine evrensel ilkelerin işlediğine, yani makul bir şekilde "hemoglobinlik" ya da "ribozomluk"tan söz edilebileceğine inanıp inanmadıklarını sorsaydınız, çoğu hayır derdi.

Toplu davranış protein ölçeğinde meydana geldiğinde, başlıca önemi toplu ilkelerin gerçekten fark eden yerde, yani metabolizma, gen ifadesi ve hücre sinyalleri gibi doğrudan ölçülmesi zor olan sistemler ve büyük ölçekli süreçler seviyesinde toplu ilkelerin iş başında olduğu argümanın ağırlığını artırmaktır. O da Karanlık Sonuçları ciddiye almamızı, özellikle de hayat ilkelerini kötü deneylerle anlamanın on-

¹⁵ Motor proteinler üzerine gerçekten muazzam bir literatür vardır. Eckhard Jankowsky'nin mükemmel internet sitesi <http://www.helicasenet/dexhd/motor.htm> ile başlamanızı tavsiye ederim. Aktin-miyosin ile ilgili öncü çalışma Jim Spudich tarafından yapılmış ve J. A. Spudich, *Nature* 372, 515 ile değerlendirilmiştir. Kinesin literatürü, <http://www.imb-jena.de/~kboehm/Kinesin.html>'de incelenmiştir. Ayrıca bkz. K. Kawaguchi ve S. Ishiwata, *Science* 291, 667 (2001) ve içindeki referanslar.

¹⁶ Bkz. H. Salman, Y. Soen ve E. Braun, *Phys. Rev. Lett.* 77, 4458 (1996) ve içindeki referanslar.

lara ne kadar para harcanırsa harcanсын ve ne kadar veri oluşturlarsa olsunlar temelden imkânsız olabileceği ihtimaliyle yüzleşmemizi gerektirir.

Ne yazık ki aynı zamanda dünyanın, problemleri yanlış yoldan çözme yönündeki müthiş kararlılığıyla da yaşamamız gerekiyor. 1972'de Başkan Nixon tarafından askere alındım; Berkeley'den alındım, bu da hikâyeyi daha da güzelleştiriyor. Fort Ord'daki temel eğitimden sonra Oklahoma'daki bir füze okuluna sevk edildim. Bu hoş karşıladığım bir gelişme oldu, zira Vietnam Savaşında hâlâ insanlar büyük bir hızla ölüyordu. O yıl her şey çılgınca geri geri gidiyor gibi görünüyordu ve doğuya yaptığım yolculuk da istisna değildi. Babam beni arabayla Los Angeles'a götürdü ve bütün yol boyunca dayanılmaz bir şekilde daha ben ne olduğunu anlamadan biteceği ve kanuna uymanın iyi bir şey olduğu hakkında gevezelik edip durdu, bu da depresyonumu artırmaktan başka bir işe yaramadı. Sonra Dallas'a giden büyük bir uçağa bindim. Sabahın erken saatlerinde, ortalıkta kimsecikler yokken oraya vardım. Bir fincan kahve için karanlık terminalin altını üstüne getirdikten sonra, sonunda küçük bir dükkânda aradığımı buldum. Dükkân, zincirleme sigara içen ve güney aksanıyla insanları zorla forma sokmaktan bahseden iki kadın sağlık görevlisi dışında boştu. Bu bir işaretti. Nihayet güneş yükseldiğinde füze okuluna sevk edilmiş üç başka öğrenciyle beraber Lawton'a kadarki kısa yolu kat etmek için küçük bir pervaneli uçağa bindik. Orada daha da koyu bir güney aksanı olan dostane bir adam bizi karşıladı; belli ki Texas'tan gelen bir mülteciydi, çünkü gerçek Oklahoma'lılar o şekilde konuşmazlar. Adam bizi; eski, paslı, iki yanında dörder kapısı ve kocaman bir bagajı olan bir uzun limuzine götürdü. Daha fazla insan bekledikleri ortadaydı. "Sizi orada götüreceğiz," diye bize güvence verdi, sanki orası yerine alacak karanlık kuşağında kaybolmamız ihtimali varmış gibi. Ama sonradan bunun olmasına ramak kaldı. Kasabadan, çoğu askeri üssün etrafında bulunan tarzdaki adi dükkânların arasından geçerken kaputun altındaki bir hortum kırıldı ve ön cama su fışkırtmaya başladı. Sürücünün hızlı düşünmesi gerekiyor-

du ve çözümünü –Dave Barry olsa diyeceği gibi, kesinlikle bunu uydurmuyorum– “Sizi oraya götüreceğiz,” diye mırıldanmak ve silecekleri çalıştırmak oldu! Havaya su fışkırtarak ve sileceklerin hortumla kaybetmeye mahkûm oldukları bir savaşa girişmesini izleyerek yol boyunca ilerlemeyi sürdürdük, sonunda uğursuz bir şekilde hortumun suyu bitti. Sürücü yeniden, “Sizi oraya götüreceğiz,” derken limuzin motorun eridiğini gösteren o yapışkan tarzda titremeye başladı. Sürücü üsse girip personel binasına yönelirken titremeler büyüyerek sarsılmalara, sonra şiddetli spazmlara dönüştü, sonunda limuzin ebedi istirahatgahına ulaşıp sonsuza kadar durduğunda son, büyük bir ölüm kabartısıyla sonuçlandı. Sürücü, “Sizi oraya götürdük,” dedi.

Bilim düzeninin hayatta potansiyel olarak var olan beliren ilkelere verdiği dik başlı tepki şüphesiz ki onun indirgemeci inançlara olan bağımlılığının göze batan bir belirtisidir. Kendi iş alanıyla ilgili ufak ayrıntılarının vergi mükelleflerinin parasıyla çözülmesini çok takdir eden ilaç endüstrisi de o inancı mutlulukla kışkırtıyor. Belirmenin reddedilmesi, bilimi mistisizmden korumak olarak gerekçelendiriliyor. Görünürdeki bilimsel görüş bilimin kimyasal reaksiyonlar olduğunu ve cesur, yiğitçe davranışın o reaksiyonları muazzam miktarda paralar ve süper bilgisayarlarla belirleyip manipüle etmek olduğunu savunuyor. Karşılık gelen mistik görüş ise hayatın çok güzel, bilinemeyecek bir şey olduğunu, insanların bütün o paraları ve bilgisayar döngüleriyle onu ancak mahvedebileceklerini savunuyor. Bu aşırı uçlar arasında canlı varlıkların bilinmemesinin aslında fiziksel bir olgu olabileceği gibi son derece önemli, ama iyi anlaşılamayan bir fikir var. Bu hayatın güzelliğinden bir şey götürmez, sadece nasıl erişilemezliğinin indirgemeci kanunla tamamen uyumlu olabileceğini belirler. Bilinemezlik, cansız dünyada her zaman gördüğümüz bir şeydir ve aslında hiç gizemli değildir. Bilinemezlik sergileyen başka, daha ilkel sistemler şimdiye kadar bilgisayarla çözülemediler ve bazıları asla çözülemeyeceklerinden emin. Benzer etkilerin biyolojide de meydana gelip gelmediği halen belirsizliğini koruyor.

Kesinlikle doğru olan bir şey varsa o da bu olasılığı küstahça reddetmenin bizi sonu gelmeyen ve hayal bile edilemeyecek kadar pahalı bir kötü deneyler bataklığına götüreceğidir.

Şüphesiz ki; bir de kişi, hayat ilkelerini *anlamalı* mı, yoksa herkesin onlardan habersiz kalmasını gerektiren kanunlar mı çıkarmalı sorusu var. Bu açıkça nazik mesele hakkında yalnızca bir görüş belirtmek yerine sizi en sevdiğim kitaplardan birine, Wallace Stegner'in yazdığı küçük bir ekiple tekneyle Colorado Nehrinden aşağı inmiş ve Büyük Kanyonun haritasını çıkarmış tek kollu İç Savaş gazisi John Wesley Powell biyografisine yönlendireceğim.¹⁷ Powell lise tarih kitaplarındaki yerini tekne yolculuğuna borçlu olsa da, gerçek anlamdaki büyük başarısı devlet bilimini icat etmeseydi. Powell Batı topraklarına büyük bir ilgi duyuyordu ve Doğudaki hava koşulları için ayarlanmış çiftlik politikasının Batıda işe yaramayacağını anlıyordu, çünkü orada bölgeye özgü ciddi çok yıllık kuraklıklar oluyordu. Powell Batıda su haklarının toprak haklarından daha önemli olduğunu ve su haklarına sahip olmayan çiftçilerin kaçınılmaz biçimde iflas edeceklerini fark etti. Bulduğu çözüm, Kongreyi o sırada müdürü olduğu ABD Jeolojik Etüdüne bir sulama etüdü yapması için yetkilendirmeye ikna etmek oldu. Bu sulama etüdünün gizli işlevi Batı topraklarının çiftlik politikasını değiştirmektir. Kilit an California'nın Clear Gölü yakınlarındaki bazı gecekondu sakinlerini tahliye etmeye çalıştığına geldi. Batı eyaletlerinin senatörleri ve kongre üyeleri küplere bindiler ve eyaletlerin haklarına dayanarak Washington'ı yetkisini aşmakla suçladılar. Kongre Powell'ın bütçesinde büyük bir kesinti yaparak ve sonradan, 1895'te de onu istifaya zorlayarak tepki verdi. Kırk yıl kuraklık olmadan geçti. Sonra Dust Bowl' geldi ve Oklahoma'da tarımın yok olması ve *The Grapes of Wrath*'te [Gazap Üzümleri] anlatılan Büyük Bunalım dağılması da dâhil olmak üzere Powell'ın kötüm-

¹⁷ W. E. Stegner, *Beyond the Hundredth Meridian: John Wesley Powell and the Second Opening of the West* (Penguin, New York, 1992).

1930'dan 1936'ya ve bazı bölgelerde 1940'a kadar şiddetli toz fırtınalarının, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'nın bozkır ve çayır topraklarına önemli derecede ekolojik ve tarımsal zarar verdiği bir dönem. – çn.

ser tahminlerinin hepsi gerçekleşti. Bu hikâyeden alınacak birçok dersten bilimsel kitap yakmayla ilgili olanı şudur: Fiziksel şeyler var oldukları halde var olmadıklarını belirten kanunlar çıkarmak sonuçta işe yaramaz. Ardından onlarca yıllık bir mutluluk dönemi olabilir, ama gerçeklik anı sonunda gelip çatacaktır ve sonuç felaket olabilir. Korkutucu, tehlikeli şeyleri ele almanın doğru yolu onları iyice anlamak ve onlarla açıkça baş etmektir.

Hayata mekanik bir şekilde bakmanın sözümlerine ona ahlaklılığına gelince, sanırım ona "mekanik"e aşırı mekanik yaklaşımın neden olduğu yanlış bir fikir olarak bakıyorum. Fiziksel kanun harika ve hayranlık uyandırıcı bir icattır ve ünlü rakibi insan beyninden çok daha etkileyicidir. Yaratıcısına yapılabileceğini hayal ettiğim en büyük saygısızlık olduğundan daha az becerikliymiş ya da yokmuş gibi davranmaktır. Dahası, makineleri seviyorum ve onların yanında olmaktan gayet memnunum. Bildiğim birçok insanla beraber sınıflandırılmaktansa onlarla sınıflandırılmayı tercih ederim. Kabul etmek gerekir ki onlar o insanlardan daha ilkel-dir, ama bunun suçunu onlara yüklemek yanlıştır.

Makinelerle bir olmak hakkındaki bu cümleler bir anımı gözümün önüne getiriyor. Dulles'ta güneş kararıyor, yarı yarıya boş bir uçaktayım. Arkada, tuvaletlerin yakınındaki karanlık bir pencerenin yanında tek başıma oturuyorum. Günün çalışması bitmiş ve doğuyla batı sahilleri arasındaki zaman farkından yararlanarak kendi yatağında uyumaya niyetliyim. Terminaldeki ışıklar yanmış ve kamyonlar karanlıkta asfaltta hızla uzaklaşıyorlar. Uçak geri gidiyor, sonra taksi yolları boyunca sarsılıp titreyerek huysuz bir şekilde yol alıyor: Aylara yem olacak bitkin somon balıkları gibi akış aşağı sürüklenen tükenmiş ekonomik askerlerin uğrak yeri olan, atılmış USA Today sayfaları ve Burger King'lerle dolu unutulmuş bir dünyadaki unutulmuş bir uçuş. Pistin sonunda uçak her zaman olduğu gibi duraklıyor, çünkü aceleye gerek yok, özellikle de geç saatte çalışıldığında. Sonra aniden çağrılmış gibi, unuttuğu bir şeyi hatırlıyor, büyük kalbi atmaya başlıyor, doğası ve doğum hakkı olan enerji ku-

yularını göreve çağırıyor, muhteşem gövdesi hiç zorlanmadan ileri fırlıyor, sonra da coşkunlukla başını göğe çeviriyor. Şehrin ışıkları azalıp kayboluyor ve uçağın arkası yine karanlığa gömülüyor.

Ellerindeyim genç dostum, daha önce pek çok kere olduğu gibi bu gece de beni sağ salim evime götürmen için sana güveneceğim.

(On Dört)

YILDIZ SAVAŞÇILARI

Bir devrimcinin ilk görevi, yanına kâr kalmasını sağlamaktır.

Abbie Hoffman

Eski Yunan mitolojisi insanlık hali hakkında derin içgörüler içerir, bu yüzden onu okumak ve hakkında düşünmek son derece keyiflidir. Bilginin Altın Çağının hikâyesi için hafıza yanılmalarına karşı beni korusun diye elimdeki bolca kullanılmış Hesiod nüshasına başvuracağım. Orada ateşin insanlığa Titan'ın düzenbazı Elvis tarafından getirildiği yazılıdır. Elvis onu tanrıların Afrika'nın derinliklerindeki gizli saklama yerinden çalmış. Hiddete kapılan Zeus Elvis'in ağabeyi Liberace'e binlerce utangaç genç kız, yani *groupie*'ler biçiminde korkunç bir kötülük göndermiş, ama Liberace ilgilenmemiş ve onları Elvis'e yollamış. Zeus her bir *groupie*'ye şanssızlık, dert ve çaresizlik dolu, zekice Japon yemeği süsü verilmiş küçük bir kutu vermiş. Gerçekten de, her bir *groupie* sonunda merakına ya da açlığına yenik düşüp kutuyu açmış ve kutulardan hayatın bütün tatsızlıkları dışarı saçılmış: istenmeyen telefon görüşmeleri, mesai trafiği, havalimanlarındaki kapatılamayan televizyonlar ve daha birçok şey Her kutunun dibinde sadece küçük bir mücevher, Zeus'tan neşeli bir kişisel kutlama ve Betty Ford Kliniğinin acil durum yarım hattı numarası varmış. Bu intikamdan tatmin olmayan Zeus, Elvis'i Las Vegas'taki bir işeyen melek çeşmesine zincirlemiş ve karaciğerini kemirsin diye her gün kokain, barbitüratlar ve alkol taşıyan bir kartal göndermiş. Sonunda Herkül, Elvis'i bu işkenceden kurtarmış ve karşılığında Zeus'un

enfes altın elmalarının yerini ve Elvis'in bu kadar büyük ve güçlü olmasını sağlayan dünyaca ünlü fıstık ezmeli ve muzlu sandviçlerin tarifini almış. Ardından Elvis, Hades'te emekliye ayrılmış, ölümsüzlüğe kavuşmuş ve orada dış uzaydan gelmiş bazı uzaylılarla karşılaşmış. Uzaylılar onun kariyerini canlandırmışlar; Elvis şimdi sık sık kaçırılma olaylarına konuk olarak katılıyor.

Bu hikâyeyi anlattığım için kendimi suçlu hissediyorum, çünkü bütün parodiler gibi aslında komik değildir. Elvis Presley gerçek bir trajik kahraman, yaratıcılık alevinin parlak yandığı, çevresindeki insanları daha önce hiç bilmedikleri bir şekilde aydınlatmış ve sonuç olarak da genç yaşta ölmüş biriydi. Müzik camiasında bu etkinin sayısız örneği vardır (Charlie Parker, Jimi Hendrix, Sid Vicious, Tupac Shakur) ama önemli nokta bunun insanlık kadar eski bir arketip olması ve şüpheli kişisel alışkanlıkları olan müzisyenlerle sınırlı olmamasıdır.¹

Bugs Bunny, Spike Jones ve Marx Biraderler gibi bütün gerçek kuramsal fizikçiler de anarşisttir. Bunu takdir etmem çok uzun zaman aldı, zira istikrarlı ailesi olan, gelir vergisini ödeyen ve ipotek ödemeleri yapan oldukça muhafazakâr biriyimdir. Ayrıca öğrenciyken o kadar çok çalışmışım ki siyasete ya da dikkat dağıtıcı şeylere ayıracak vaktim olmadı, bu da 1970'lerin başındaki Berkeley için büyük bir başarıdır. Fakat çalışkanlığım yanıltıcıydı; çünkü bütün o zaman boyunca kütüphanenin derinliklerinde yaptığım şey ödevim değil, Washington'daki para sağlama ajanslarının tüm kalpleriyle nefret ettikleri ve aşağılayıcı bir şekilde "merak temelli araştırma" diye niteledikleri bir şeydi: Önemli olduğuna hüküm verdiğim şeylerle ilgili hızlı, çevrimdışı araştırmalar yapıyordum. Kuramsal fiziğin zor anlaşılır ve soyut olması kişinin sorumluluk sahibi gibi görünerek bu davranıştan sıyrılabilmesini sağlar, bu yüzden de bu disiplin ba-

¹ Erkenden ölmüş rock yıldızlarını içeren güzel bir liste : <http://elvis-pelvis.com/fullerup.htm>'de bulunabilir. Bu konuyla ilgili diğer siteler <http://www.av1611.org/rockdead.html> ve http://www.wikipedia.org/wiki/List_of_artists_who_died_of_drug-related_causes'tır.

ğımsız zihinli olanların büyük ilgisini çeker. Ama ilk gerçek anlamda başarılı bilim elektronik dergisi Los Alamos ilan tahtasının yaratıcısı Paul Ginsparg dikkatimi çekene kadar anarşiyle aradaki bağlantıyı kuramamıştım.² Neden diğer bilim dallarında benzer kurumların çok yavaş ortaya çıktığı hakkında konuşuyorduk. Paul fizikçilerin kendilerini büyük profesyonel riske girmek pahasına her şeyden önce eksantrikliğe ve fikirlerde yeniliğe değer verecek şekilde seçtiklerini ileri sürdü. Bu tutumu mesela yaşam bilimlerinde bulmak daha zordur; orada fikir birliğinin otoritesi güçlü bir gelenektir, bunun muhtemel sebebi de birinin sağlık içerimleri olan sorumsuzca bir şey söyleyerek panik yaratması tehlikesinin önüne geçmektir. Paul bu kültürel farklılığın köklü olduğunu ve başka herhangi bir disiplinde fizikteki gibi özgül kurumlar yaratmanın ya zor ya da imkânsız olacağını düşünüyordu. Kuramı şimdi test ediliyor; zira tıp için, yeni elektronik iletişim ortamları oluşturma yönünde girişimler var. Yakında bunların Paul'inki gibi hakikaten yeni mi, yoksa sadece geleneksel dergilerin hızlandırılmış versiyonlarını olduklarını göreceğiz.³ Yine de fizikçilerin kültürel olarak doktorların tam tersi oldukları inkâr edilemez.

Yıllar önce tuhaf bir etkinin farkına vardım: Son derece zeki öğrenciler (çoğu zaman genç erkekler, ama her zaman değil) bilgisayar programcısı olmak için liseyi ya da üniversiteyi bırakıyorlardı. Bu etki uyuşturucu kullanmak için okulu bırakmaktan farklıdır, çünkü bu iş kârlıdır, matematiksel olarak sofistikedir ve lise matematik öğretmenleri de dâhil olmak üzere çoğu insanın yeteneklerinin ötesindedir. Yine de korkutucudur, özellikle ebeveynler için. Bu süreç ben

² Los Alamos ilan tahtasına başlangıçta aramalarda sık sık öne çıkması için <http://xxx.lanl.gov> URL'si verilmişti. Daha sonra Cornell'e taşındı ve şimdiki URL'si <http://arxiv.org>. Profesör Ginsparg hakkında biyografik bilgi <http://www.physics.cornell.edu/profpages/Ginsparg.htm>'de bulunabilir.

³ Gordon ve Betty Moore Vakfı kısa süre önce iki hakemli elektronik derginin, *PLoS Biology* ve *PLoS Medicine*'in oluşturulması için Halk Bilim Kütüphanesine 9 milyon dolar bağışta bulundu. *Bkz.* <http://www.bio-it-world.com/archive/021003/firstbase.html>.

çocukken bile devam ediyordu, ama son zamanlarda hassas yaş grubunda oğullarım olması nedeniyle ona duyarlı hale geldim. (Şimdilik bizi etkilemedi.) Bunun bilgi çağında olması özellikle ne kadar sık gerçekleştiği düşünülürse bana son derece tuhaf geldi. Bazı vakaları kişisel olarak biliyorum, birçoğunu da başkalarından duydum. Tanıştığım bu tür insanların hepsi cana yakın, uyumlu ve zekiydi. Sadece onları yabancılaştıran, hakkında konuşmak istemedikleri bir şey olmuştu.

Bu insanlardan biri, MIT’de doktora öğrencisi olduğum zaman ev arkadaşımıydı. Ne kadar yetenekli olduğunun daha iyi anlaşılması için şunu söyleyeyim: O sıralar bir Savunma yüklenicisi olan Bolt, Beranek, and Newman’da Darpanet (internetin atası) diye küçük bir şey üzerinde çalışıyordu ve daha sonra Silikon Vadisine taşındı. Şu anda orada benden çok daha fazla para kazanıyor.⁴ Bir başkası bir iş arkadaşımın oğluydu. Başka birinin adını teknolojinin Beverly Hills’i olan Los Altos Hills’teki bir mangal partisinde kaza eseri duydum. Yerel bir bilgisayar girişimcisine yeni kurduğu şirket için nasıl programcı bulduğunu sordum, o da söylenti yoluyla isimlerini duyduğunu söyledi. Hatta en iyi çalışanı yirmi yaşındaymış, bir diploması yokmuş ve yılda yirmi bin dolar gibi şahane bir paraya canını dişine takarak çalışıyormuş. Ayrıca hiç doğrulatamadığım ama çok inandırıcı olduğum söylentilere göre San Diego Süper Bilgisayar Merkezinin işletme personelinin yarısı hiç üniversiteyi bitirmemiş ve bitirenlere göre çok daha hünerlilermiş.

Giderek bu sık sık rastlanan akademik iflas vakalarının sadece “mükemmellik” rekabetinde fazla zorlandıkları için erkenden sistemin dışına kayan anarşistler olduklarını düşünüyorum. Bir başka deyişle, bu etki uyuşturucu bağımlılığı ve ergen intiharının zeki bir kuzeni. Muhtemelen ben de, ancak rekabetin o kadar ciddi olmadığı küçük bir kır kasabasında büyümem sayesinde kaçabildim.

⁴ Bolt, Beranek, and Newman (BBN) Massachusetts’in Cambridge şehrindeki, Darpanet’i inşa etmek için ilk ihaleyi almış şirkettir. *Bkz.* <http://www.bbn.com>.

Mali güvenlik ve profesyonel dayanıklılık için azimle piyasalara, rekabete ve uyumluluğa odaklanmak gerekir diye ünlü, beylik bir laf vardır. Bütün iyi ebeveynler bu gerçeği anlar ve yalnızca en sorumsuz olanları başka bir şeyi öğütler ya da uygun bulur. Oğullarımın da acıyla tanıklık edeceği üzere ben de istisna değilim. Ama gerçek şu ki, kimi zamanlar odaklanma buyruğu başarısız olur ve o konuda kimsenin yapabileceği hiçbir şey yoktur. Yaratıcı özgürlük içinde yaşama güdüsü hepimizde güçlüdür ve ancak bir avuç insan uyarılara rağmen sonunda ona yenik düşer. Bu güdünün kültürel mi, yoksa genetik mi olduğu haftalarca tartışılabilir, ama kesin olan şudur ki önemli sanat eserlerinin, bilimsel keşiflerin ve modern uygarlığın karakteristiği olan güçlü yenilik yapma itkisinin gerçek kaynağı bu güdüdür. Bir çocuğun kendi yoluna gitmesini izleyen ebeveynler dinliyor olabilecek olan varlığa onu güvende tutması için yalvaran dualar gönderirler. Ben de bir dua gönderiyorum: Cennetteki Tanrım, lütfen bu kişiyi bana gönder.

Bu duanın sık sık cevaplanmıyor olması muhtemelen iyidir. Bir anarşistin hayatı zordur ve kesinlikle teşvik edilmemelidir. Herkesin eninde sonunda büyümesi ve tavizler vermesi gerekir ve genç yaşta kasıtlı itaatsizliğe başlamak daha sonra işleri çok daha zor hale getirir. Üniversitemin sadece çok kapsamlı bir eğitime sahip olan kişileri alma uygulaması iyi de olsa kötü de olsa isyankârları dışarıda tutmak konusunda son derece etkilidir. Ama arada bir birkaç kişi içeri sızar, sonra beraber önemli bir sorun üzerinde kısa süreliğine de olsa çalışabiliriz.

Keşiflerin genellikle gençler tarafından yapılmasının sebebinin sorumlu yetişkinliğin pratik özellikleri olduğu iddia edilebilir. Genç insanlar çoğu zaman daha zeki olsalar da mesele bu değil tutacakları daha az sözlerinin olmasıdır. Konunun özü *Mad Magazine*'deki kısa bir köşede, sakallı, her yanında sinekler uçuşan bir hippinin ve beraberinde John Greenleaf Whittier'in ustalıkla kafiyelendirilmiş William Gaines versiyonunun olduğu bir çizimde veriliyordu. Sözler

şöyleydi: Barefoot boy with cheek of tan, no one likes a bare-foot man.*

Beklenebileceği üzere, anarşistler büyüdüklerinde başlarına bir sürü eğlenceli şey gelir, bu da ya gülünç ya da acı biçimde kinik anekdotlara yol açar. Örneğin vergi mükelleflerinin çığır açıcı teknolojik araştırmaları desteklemek gibi kutsal bir yükümlülüğü olduğunu tutkuyla savunan iş arkadaşım vardı; ne zaman ki eşi bir teknoloji şirketi kurup vergi ödemeye başlayana kadar. Bu hikâyeyi geçiştirmek için şu anısını anlatmayı sever: Bir gün kızını Silikon Vadisinin kalbi olan Sunnyvale'de International House of Pancakes'te kahvaltıya götürmüş ve yan masada sanayi sırlarının çalınmasına kulak misafiri olmuş: O metal kaplama işlemi ne kadar? On bin iyidir. Buyurun. O yayılma süreci ne kadar? Vesaire. Bu teknolojiyi almanın kendin icat etmeye göre çok daha maliyet etkin olduğunu anlamak için büyük bir matematik yeteneğine sahip olmaya gerek yoktur. Bir de halkın içinde avukatları kötülemeye bayılan iş arkadaşım vardı; ta ki gizlice hukuk fakültesine gittiği ortaya çıkana kadar. Bir başka iş arkadaşım bağış izleme görevlisi öyle istiyor diye paslanmanın başlangıcından itibaren pahalı bilgisayar hesapları yapıyordu; oysa pasın karbon ve tuz gibi çevresel safsızlıklarca katalize edildiğini, dolayısıyla hesaplanamayacağını gayet iyi biliyordu. Kariyeri bıçak sırtında olan bir başka iş arkadaşım soğuk füzyonu açıklayan sofistike, gülünç derecede hayali bir matematiksel fizik makalesi yazıp basına yollayarak ve aldatmacasını gizlemek için bu alandaki kafa karışıklığına güvenerek (güveni boşa çıkmadı) kariyerini kurtarmıştı. Bir insanın cesaretinin sıkı bir testi olarak rahat büyümek analiz sınavından ya da baro sınavlarından çok daha iyidir.

Soğuk füzyon örneğini çok severim, çünkü bir nükleer uzmanla beraber bir ofisteyken bir gazeteci ona telefon etti ve makale hakkındaki yorumlarını sordu. Muhtemelen bu kalp krizinden ölmeye en yaklaştığım andı, çünkü ikimiz de faks

* Yanmış yanakları olan yalınayak oğlan, kimse yalınayak bir adamı sevmez -çn.

makinesinden çıkan her biri bir öncekinden komik sayfaları okurken az kalsın gülmekten ölüyorduk. Ama Elvis hikâyesi gibi bu olay da aslında komik değildir.

Ciddi bir mühendislik perspektifinden bakıldığında füzyonun gizemli bir yanı yoktur.⁵ Cazibesi ve dolayısıyla satış potansiyeli güneşin güç kaynağı ve bir gün bizi bütün o istikrarsız Ortadoğu ülkelerine bağımlı olmaktan kurtarabilecek olası bir sınırsız temiz enerji kaynağı olmasından gelir. Ama temelde ateşin daha üst bir versiyonundan ibarettir: hidrojen çekirdeklerinin birleşerek bir helyum çekirdeği oluşturdıkları, oksijenle karbonun bir miktar ısı ve karbon dioksit oluşturdıkları reaksiyona benzeyen bir reaksiyon. Füzyon normalde soğukta değil güneşin içi gibi aşırı sıcak ortamlarda gerçekleşir, çünkü hidrojen çekirdekleri birbirlerini güçlü bir şekilde iterler, dolayısıyla birbirlerine kaynaşacak kadar yaklaşmak için yüksek çarpışma hızlarını gerektirirler. Kendini patlatıp öbür dünyayı boylamadan gerçek tutuşmayı – bu denetimsiz bir zincirleme reaksiyondur– sağlamak teknik olarak zordur, çünkü çok yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulur ve reaksiyon başladığında çok büyük miktarda enerji açığa çıkar. Ama olanaksız değildir, dolayısıyla modern mühendislik araştırmalarında meşru bir teknik hedeftir.

1989'da kimyacılar Stanley Pons ve Martin Fleischmann bir basın toplantısıyla elektrokimyasal bir hücrede ekstra ısının açığa çıktığını keşfettiklerini ve bu ısının ancak "soğuk füzyon" adını verdikleri şeyle açıklanabileceğine inandıklarını açıkladılar.⁶ Bu iddia kuantum mekaniksel olarak mantıklı değildi. Sıradan kimyanın enerji ölçekleri nükleer

⁵ Füzyon mühendisliğine bir giriş için bkz. A. A. Harms vd., *Principles of Fusion Energy* (Wiley, New York, 2000).

⁶ Soğuk füzyon Mart 1989'da Stanley Pons ve Martin Fleischmann tarafından bir basın toplantısıyla açıklandı. Ardından ikili Utah eyaleti yasama meclisinden 5 milyon dolar araştırma parası aldılar; bunun 500 bin doları, ismi açıklanmayan özel bir bağışçıdan geldi. Daha sonra bu kısmın aslında üniversitenin kendi araştırma fonlarından geldiği ortaya çıktı. Fleischmann kariyerinde daha önce yüzeyle iyileştirilmiş Raman etkisi adı verilen, hem meşru hem de teknolojik olarak kullanışlı olan bir şey keşfetmişti. Bkz. M. Fleischmann, P. J. Hendra ve A. J. McQuillan, *Chem. Phys. Lett.* 26, 163 (1974).

reaksiyonları katalize etmek için uygun değildir. Ama yeterli sayıda insanın kuantum mekaniğine inanmadığı, onun karmaşıklıklarını kendi amaçları için çarpıtmaya hazır olduğu ya da onu uygulayanlarını sahtekâr olarak gördüğü anlaşıldı, zira sağduyuya çağıran sesleri duyan olmadı. Utah eyaleti yasama meclisi soğuk füzyon araştırmaları için beş milyon dolar ayırdı, sonra da bütün dünyada bir sürü benzer faaliyet başladı. Yazar John Huizenga'nın tahminine göre bu faaliyetler yüzünden 50 milyon ila 100 milyon dolar vergi mükellefi parası boşa harlandı.⁷

Soğuk füzyonun hiç komik olmayan ama önemli bir başka yanı tuhaf bir biçimde Elvis ile paylaştığı bir özelliktir: ölümsüzlük. 1997'de bir sabah arabayla işe gidiyordum ve radyoda National Public Radio'da Ira Flatow'un sunduğu *Science Friday* programına denk geldim. Günün konusu soğuk füzyondu⁸ ve Ira'nın konukları Berkeley'deki saygıdeğer bir nükleer mühendis olan T. Kenneth Fowler ve *Infinite Energy* dergisinin yazı işleri müdürü Eugene Mallove'du.⁹ Programın ilk yarısında Ira Fowler'den bir dizi bilgece ve bilimsel olarak sorumlu beyan aldı: Örneğin soğuk füzyonun yanlış olduğunun kesin olarak söylenemeyeceği, ama bildiğimiz kadarıyla nükleer fizik kanunlarına uygun olmadığı ve onu güçlü bir şekilde destekleyen hiçbir deneysel bulgu olmadığı gibi. Fowler *Sahtekârlık* sözcüğünden büyük bir çabayla kaçındı. Ama ikinci yarıda Mallove serbest kaldı ve performansı etkileyiciydi. Burada yer kazanmak için değiştirerek yazmam gerekiyor, bu sıkıştırma yüzünden bazı anlam nüansları kaybolduysa şimdiden özür dilerim. Mallove; soğuk füzyonun işe yaradığını, her yerde işe yaradığına dair deneysel kanıtlar olduğunu, özel sermayenin şimdiden halk için enerji üretmek amacıyla onu kullandığını, akademisyenlerin füzyonu kârlı yapmayı başaramadıklarını, yine

⁷ Bkz. See J. R. Huizenga, *Cold Fusion: The Scientific Fiasco of the Century* (Oxford University Press, Londra, 1994).

⁸ Bkz. http://www.sciencefriday.com/pages/1997/Apr/hour_1_041197.htm. NPR'nin Ira Flatow tarafından sunulan *Science Friday*'inin o bölümü 11 Nisan 1997'de yayınlandı.

⁹ Bkz. <http://www.infinite-energy.com>.

de kamu fonları sayesinde çok büyük bağışlar aldıklarını, sosyal yardım kraliçelerinden farksız olduklarını ve soğuk füzyona çamur atmalarının rekabeti ezip işlerinin başında kalmayı amaçlayan bir kampanyadan ibaret olduğunu söyledi. Otuz dakika boyunca böyle devam etti ve Ira'nın onu durdurmaması ya da çürütülmesine izin vermemesi bende onun da örtülü olarak onayladığı izlenimini uyandırdı.

Böyle olaylar yüksek değerli bilimin çoğu zaman bilimsel olmadığını açığa vurur. Büyük miktarlarda paranın söz konusu olduğu durumlarda çoğu zaman ikna edici olmak ve sağlam bir ticaret anlayışına sahip olmak doğru olmaktan çok daha önemlidir. Bu profesyonel bir kuramcı olarak geçinmenin bu kadar zor olmasının sebeplerinden biridir. Bu tür durumlarda haklı olmak hem boşunadır hem de kişinin şiddetle eleştirilmesine yol açabilir. Altta yatan sebep elbette ekonomiktir. Hayatlarını temel şeylerin keşfine adayan insanların ödediği bedellerden biri, sosyoekonomik açıdan mavi yakalı olarak görülmeleridir. Mavi yakalı çalışmada bir sorun yoktur, ama parayı anlayanların çoğu zaman işçi katından gelen uygunsuz gerçekleri göz ardı ederek neyin "doğru" olup olmadığına karar verdikleri önemli politika toplantılarının dışında bırakılmanıza neden olur. Böyle sıkıntılar şüphesiz ki bu işin ayrılmaz bir parçasıdır ve kişi onlara boş vermeyi öğrenir. Ama çoğu profesyonel bilim insanı için yüksek değerli bilimin bilim dışı doğasının bir yönetim etkisi olduğu, utandırıcı ve kimi zaman ahlakdışı, ama aynı zamanda hayatımızın temel bir parçası olduğu açıktır.

Gerçek bilimin yönetilen bir faaliyet olması, kayda değer ekonomik fedakârlık içermesine neden olur. Fizikte son zamanlarda nükleer silahlar geçmişte kaldığı, elektronik donanımlar Uzakdoğu'ya göç ettiği, yazılımlar Hindistan'a göç ettiği ve araştırma portföyleri ilaçlar ve tıbbaya doğru kaydığı için çok fazla fedakârlık yapmamız gerekti. Bu kaymalara birçok kişi için acı verici yeniden düzenlemeler (işsizlik için bir hüsnütabir) eşlik etti ve bazılarının profesyonel hayatları çirkin, yabani ve kısa oldu. Ama bu onur kırıcı durumlara azimle katlanan, çünkü temel keşiflerin hem mümkün

hem de önemli olduğunu, ayrıca yönetilemeyecek bir şey olduğunu anlayan çekirdek bir kadro vardır. Bu keşiflerin yönetilebileceği fikri tıpkı artık yapılacak keşif kalmadığı ya da ekonominin büyüyle onları sağlayacağı fikirleri gibi karşı-kuramdır. Bilimde kilit atılımlar her zaman kendi yoluna gitmiş, otoriteye meydan okumuş ve öyle yaptığı için acı bir bedel ödemiş dürüst insanlar tarafından yapılmıştır.

Elbette profesyonel hayatta kişisel gücün önemi sadece bilim insanları için değil, herkes için geçerlidir. New York'tan San Francisco'ya giden bir uçuşta yan koltuktaki bir adamla sohbet ettim ve ilginç bir hikâyesinin olduğunu gördüm. Adam Litvanyalıydı, o sırada Pennsylvania'da yaşıyordu ve oğluyla beraber somon balığı avlamak için Alaska'ya gidiyordu. İlk Amerika'ya geldiğinde bir elektrik motoru fabrikasında işe girmiş. Elektrik motorlarıyla çok ilgiliyimdir, bu yüzden ona birkaç teknik soru sordum ve hayretle elektrik motorlarıyla ilgili *her şeyi* bildiğini fark ettim: tork özellikleri, rotorların nasıl sarım yaptığı, neyin ölçeklenip neyin ölçeklenmeyeceği, güç tüketimi özellikleri, ne tür tel kullanılması gerektiği, rulmanlardan ısı akışı; aklınıza ne gelirse. Hayran kaldığım bir saatin ardından ikna oldum ve kendi kendime elektrik motorları hakkındaki *her şeyi* öğrenebilmek için bu adamın yüksek lisans öğrencisi olmalıyım diye espri yaptım. Ama adam birkaç yıl önce merkezden fabrikanın kapanacağı ve Şili'ye taşınacağı haberinin geldiğini söyledi. İşini yitirmiş. Dehşet içinde ona sonra ne yaptığını sordum. Bir çelik fabrikasında iş bulduğunu söyledi. Ona ön ofiste kâğıt işlerini halletmeyi mi kast ettiğini sorduğumda, hayır, gerçekten çeliği yapmayı kast ettiğini söyledi. Aslında çelikle de çok ilgiliyimdir, bu yüzden ona birkaç teknik soru sordum ve tekrar hayretle çelik yapımı hakkında *her şeyi* bildiğini fark ettim: Sıcaklık renklerinin anlamı, safsızlıkların ne kadar olması gerektiği ve nasıl ölçüldüğü, külçelerin nasıl düzgün biçimde tavlanaacağı ve soğukta işleneceği, ekibin yaralanmalardan nasıl korunacağı; aklınıza ne gelirse. Bir başka hayran kaldığım saatin ardından yeniden ikna oldum ve yeniden çelikle ilgili *her şeyi* öğrenebilmek için bu ada-

mın lisansüstü öğrencisi olmaya karar verdim. Ama adam birkaç yıl önce merkezden fabrikanın kapanacağı haberinin geldiğini söyledi. Bu seferki durum öncekinden de kötüydü, çünkü şirket iflas etmiş, emeklilik fonunu da beraberinde götürmüştü. Daha da büyük bir dehşetle ona sonra ne yaptığını sordum. O zamana kadar eşiyle beraber bir süt işletmesi alacak kadar para biriktirdiklerini, bu yüzden aldıklarını ve o zamandan beri orayı başarıyla işlettiklerini söyledi. Aslında süt işletmeciliğiyle de çok ilgiliyimdir, tam ona konuyla ilgili teknik sorular soracak ve kuşkusuz sonunda süt işletmeciliğiyle ilgili her şeyi öğrenmek için onun lisansüstü öğrencisi olmak isteyecektim ki, zaman bitti ve uçak indi. Ama eve giderken hep sohbetimizi düşündüm: Üç kere adamın dünyası çökmüştü ve en az iki kere müthiş olduğu aşikâr olan teknik uzmanlığı ekonomik kayma yüzünden hükümsüz hale gelmişti. Her seferinde kendini toparlamış, yatırımını bir kalemde silmiş, yoluna devam etmiş ve başarıya ulaşmıştı. Sonunda da iyi bir yerde balığa çıkmıştı. Hepimizin bu adam gibi olmayı amaçlaması gerektiğine inanıyorum.

Bu hikâyeyi anlatmaktan zevk alırım, çünkü zeki, nazik insanların fedakârlık yapmaktan çabucak usanıp başka şeylere geçmesi gibi talihsiz ama ebedi bir gerçeğin karşısında ahlaki bir denge ağırlığıdır. Başka şeylere geçme anı her zaman ilginçtir, çünkü o kişinin aslında hangi kumaştan biçildiğini açığa çıkarır. Kimi zaman Litvanyalı süt işletmecisinde olduğu gibi yürek ısıtıcı bir sürprizle karşılaşabilirsiniz, ama başka zamanlar çalıntı arabaları söküp satan bir tamircide hissesi olan bir kullanılmış araba satıcısı gibi bir şey olur. Çıkarıcı hayat yolunu çok sertçe kınamak naif ve çocukçadır, çünkü hepimizin geçim kaynağını oluşturan gerçek ticaretin önemli bir kısmı oyun oynama ve aldatmacadır. Bu ilke genel olarak geçerlidir. Baharın cılız filizleri yazın dikenlere ve tilkikuyruklarına dönüşmezlerse hayatta kalamazlar. Şirin küçük kedi yavruları büyüdüklerinde son derece etkili katillere dönüşmezlerse çabucak ölürlere. Daha çok iki ayrı teknik hayat yolu olduğunu gözlemliyorum. Bunlardan biri biraz çileci ve bilimle uyumludur, diğeryse değildir. İki yo-

lun ortak noktası hayal gücünü önleyen kuralları kasıtlı bir şekilde göz ardı etmektir, bu da insanların iki yolu birbiriyle karıştırmalarına neden olabilir. Ama çilecinin durumunda göz ardı edilen kurallar, genellikle entelektüel olanlardır; satışı-bilim insanının durumunda ise ahlaki olanlardır. Her iki tarafta da öngörülü kişiler vardır ve bazıları iki tarafta birden yer alır. Ama çoğumuz için bu ikisi arasındaki seçim büyümenin önemli ve zor bir kısmıdır.

Çileciyle bilim insanı-satıcı arasındaki zıtlık William Broad'un Livermore'daki kötü şöhretli nükleer pompalı X-ışını lazer silah programının hikâyesini anlattığı 1986 tarihli kitabı *Star Warriors*'ta¹⁰ tarif edilir. Muhalliflerinin alaycı bir şekilde "Yıldız Savaşları" adını taktığı bu proje büyüleyici teknik meselelerle, lazer ilkelerini kullanarak bir nükleer patlamanın muazzam enerjisini dar bir X-ışınları huzmesine odaklamakla ilgileniyordu. Fakat bu kitabı unutulmaz yapan teknoloji değil, cesur ve yüksek riskli bir mühendislik projesinin arkasındaki kişiliklerin ve de düşünce süreçlerinin tasviridir. Bu, hem bilim insanları hem de programı destekleyen devlet yetkilileri için geçerlidir. Bu insanların birçoğunu şahsen tanıyordum, zira o sırada Livermore'daydım, işlerin orta yerinden çok uzaktaki önemsiz bir modelleme grubunda olsam da. Her iki türden kural çiğnemenin yaygınlığı bu kitapta aynen olduğu şekliyle doğru bir biçimde açıklanır.

Ama önemli bir yanlışlık, kinikliğin az olmasıdır. Biz yeni işe alınmışların römorklarda durmadan rol oynayan fiziksel ilkelerle, tasarım amaçlarının uygulanabilir olup olmadığıyla (çoğumuz olmadığını düşünüyorduk) ve kimin para için kimi kandırdığının neredeyse kesin olduğuyla ilgili dedikodu yaptığımızı gayet iyi hatırlıyorum. Program, Reagan yıllarındaki 100 milyon dolarlık doruk noktasından sonra vaatler yerine getirilemediği için sıfıra düştüğünde o kadar

¹⁰ W. J. Broad, *Star Warriors* (Simon and Schuster, New York, 1986); age., *Teller's War: The Secret Story Behind the Star Wars Deception* (Simon and Schuster, New York, 1992). Ayrıca bkz. *Atlantic Monthly*'nin Nisan 1988 sayısında yayımlanmış C. E. Bennett makalesi "The Rush to Deploy SDI," http://www.theatlantic.com/issues/88apr/bennett_p2.htm.

da şaşırmadık. Ama bitişte olanlara çok şaşırdık: Programın, Sovyetler Birliği'ni yok etmiş olduğu gibi mutlu bir haber aldık. Doğru söylüyorum. Teknolojik açıdan Sovyetler'den daha iyi numara yaptığımızı ve onları iflas ettirdiğimizi söylediler.

Bu programla *desteklendiğimi* öğrendiğimde kinikliğim daha da arttı. Bilseydim katılmazdım sanırım, ama yargıya varmak zor. Evde küçük çocuklarım vardı ve bir saniyeliğine bile işsiz kalmayı göze alamazdım.

Şüphesiz ki abartılı iddialar kasıtlıydı, zira müşteri (bu durumda Reagan yönetimi) uzay tabanlı bir füzesavar savunması istiyordu ve bilimi bu özel teknolojik amaca giden bir araç olarak desteklemeye hazır, ama başka şekilde desteklemeye hazır değildi. Çoğu şeyde olduğu gibi işte ve yönetimde de müşteri her zaman haklıdır; özellikle çok büyük miktarlarda paranın söz konusu olduğu durumlarda.

X-15'ini lazer programı kimi zaman önemli bilimsel ilerlemelerin nasıl yapılması gerektiğine dair bir durum çalışmasıdır. Lazer silahı çalışmasa da, patlayıcı bir şekilde güdülen X-15'ini lazerleri *çalıştı* ve artık lazer füzyonu için önemli bir günlük arıza teşhisi aracı halini aldı. Lazer füzyonunun kendisi (devasa lazerleri çok küçük bir yakut yumağının üzerine odaklayarak sıcak bir füzyon ortamının yaratılması) içe patlama yakınsamasıyla ilgili aşırı iyimser varsayımlar nedeniyle başlangıçta teklif edildiği gibi çalışmadı, ama araştırmalar ilk yatırımları *oluşturdu*, onlar da (sanırım) çalışacak yeni, ihtiyatlı tasarımların yolunu açtı.¹¹ Nihayet bir lazer füzyonu yumağı patladığında bütün bu mali üçkâğıtların affedilip affedilmeyeceğini henüz bilmiyoruz, ama dünya kesinlikle afallayacak ve sanırım kökünden değişecek.

Bu türden dolaylı stratejileri bulma ve onlardan yararlanma kabiliyeti, tanıdığım girişimci tiplerin kilit bir özelliğidir. Böyle insanlar aynı zamanda yalancılık meselesine de iyimser bakma eğilimindedirler, zira birkaç yumurta

¹¹ Bkz. <http://www.nrdc.org/nuclear/nif2/findings.asp>. Doğal Kaynaklar Savunma Konseyi Livermore'daki Ulusal Ateşleme Tesisine şiddetle karşı çıkar.

kırmadan omlet yapılamayacağını düşünürler. Hane başına kaç yumurta kırdıkları hakkında fikrim yok, ama çok fazla olduğundan şüpheleniyorum. Bir gün adını anmayacağım bir kurumda bir eldiven kutusunu bağlayan bir teknisyenle sohbet ederken ünlü bir yerel öngörü sahibi ve işletmeci olan X'i tanıdığımdan bahsettim. Teknisyen gözlerini fal taşı gibi açtı ve bana alçak sesle bir keresinde bir generalin arayıp ertesi gün bir sürpriz bir ziyaret yapacağını söylediğini, bunun üzerine X'in emri altındaki bir grup çalışana bütün gece ofiste kalıp yapmış olması gereken ama yapmadığı bilgisayarları taklit etmek için mukavva kutuları boyamalarını emrettiğini anlattı.

Çoğu insan bu hikâyeyi duyunca başını sallayıp inanamayarak gülümsese de, *gerçek* bilim insanları aynı zamanda dehşetle titrerler, çünkü işlerini yapmaları için gereken ahlaki ödünler yüzünden çok azap çekerler. Nükleer silahların ahlaki ödünlerini kast etmiyorum. O silahlarla ilgilenmek güvenli bir şekilde sivillerin kontrolü altında tutuldukları geleneğin parçasıdır, dolayısıyla onlarla çalışmanın bir ödün vermeyi gerektirmediğini düşünüyorum. Kast ettiğim, araştırma parası almak için abartmaya ihtiyaç duyulmasıdır. Gerçek bilimde girişimci imajının aksine yalan söylemek kesin bir tabudur. Kişinin hayatı gibi sınırlı ve değerli kaynakları sahte bir ipucu uğruna boşa harcamasını önlemek için bu tabuya ihtiyaç duyarız. Dolayısıyla kısa süre önce Jan Hendrick Schön Bell Labs'ta bir dizi son derece önemli yarı iletken deneyinde sahtekârlık yaparken yakalandığında bu evrensel olarak en kötü ihanet olarak algılandı ve bütün bilim dünyasının onu suçlaması, iç değerlendirme yapması, görevine son vermesi ve kariyerini sona erdirmesiyle sonuçlandı.¹²

Teknolojik ihtiyaçların bilimsel faaliyet üzerinde oluşturduğu piyasa çekimi hayatlarımızın temel bir parçası olduğu

¹² Schön olayı hakkında çok fazla yazı yazıldı. *Bkz.* K. Chang, "Panel Says Bell Labs Scientist Faked Discoveries," New York Times 26 Eylül 2002. Lucent'in suçu kabul ettiği resmi açıklama http://www.lucnet.com/news_events/researchreview.html'de bulunabilir. Ayrıca *bkz.* R. B. Laughlin, *Physics Today*, December 2002, s. 10 ve oradaki referanslar.

için kalıcı ve tekrar eden ahlaki ikilemler yaratır, dolayısıyla da bitmez tükenmez bir kara mizah kaynağıdır. Bir uzay tabanlı füze savunma stratejisi olarak X-ışını lazerinin halefi Smart Rocks'ın gelişmiş bir versiyonu olan 50 milyon dolarlık Brilliant Pebbles'tı.¹³ Brilliant Pebbles'ın temel fikri yerden hedeflerine yöneltilmeden düşmanın savaş başlıklarına doğru yönelip onları yok edebilecek 4.600 küçük önleyiciyi yörüngeye fırlatmaktı. Brilliant Pebbles'ın iyi bir fikir olup olmadığını bilecek kadar teknik ya da askeri uzmanlığım yok, ama her zaman doğası gereği güvenilir yapılmaları zor olan güdücü ve hedefleyici elektronik devreleriyle sorunum olmuştur. Fakat o zamanlar (ve hâlâ) füze savunmasına yönelik çok büyük talebin iddialarından en azından bazıının hatalı olması için güçlü bir ekonomik teşvik olduğundan eminim.

1980'lerin sonunda Brilliant Pebbles ciddi olarak başladığında Stanford'daki fizik fakültesine geçmiştim ve bölümdeki görevlerim bütün zamanımı alıyordu. Bu görevler arasında yeterlilik sınavı komisyonunun başkanlığını yapmak da vardı. Bu komisyonda genellikle olduğu gibi, yazın ortası gelip çattığı halde başka kimse sınav problemlerini vermedi ve bu işi halletmeleri için kafalarını ütülemem gerekti. Adımı çıkaracak derecede küstah olduğum için zamanımın bu işin peşinden koşturmak için fazlasıyla değerli olduğuna karar verdim, bu yüzden bütün sınavı kendim yazdım. Bu sınav daha sonra lisansüstü öğrencileri arasında imkânsız denecek kadar zor ve yanlışlarla dolu (her açıdan çok beceriksiz bir çalışma) olmasıyla ün kazandı, ama beni o zamandan itibaren bu özel komisyon görevinden kurtarmak gibi yararlı bir etkisi oldu. Genel fizik adındaki bir kategoride bulunan bir soru, bir öğrencinin okulda öğrendiği soyut ilkeleri evde karşılaşılabileceklerine benzer pratik problemlere uygulama kabiliyetini test edecek şekilde tasarlanmıştı. Önceki yılın

¹³ Bkz. 10 Eylül 2002 tarihli *Oakland Tribune*'deki Ian Hoffman makalesi, <http://www.highfrontier.org/OaklandTribune.9-10-02.htm>'de yeniden yayımlanmıştır. Ayrıca bkz. <http://www.periscopel.com/demo/weapons/misrock/antiball/w0003565.html>. Brilliant Pebbles 1986'de Lowell Wood ve Gregory Caravan tarafından ortaya atıldı.

problemimde etli güveç pişirmek için gereken zamanın tahmin edilmesi isteniyordu. Bu problemle çok fazla uğraşarak etli güveçten daha zarif bir günlük durum düşünmeye çalıştım, ama başaramadım. Etli güveç hakkında düşündükçe daha da komikleşti ve ne kadar çaba harcarsam harcayardım onu kafamdan atamadım. Sonunda *Brilliant Pot Roast* (Kusursuz Etli Güveç) adında bir problem yazdım. Problemin önermesi ABD hükümetinin ufacık roket motorlarıyla donatılmış binlerce etli güveci yörüngeye fırlatmayı öngören yeni bir Stratejik Savunma İnisyatifi planının olmasıydı. Sonra bu roket motorları çok kısa sürede çalıştırılarak güveçleri aşağıya yönlendirecek ve yaklaşan Rus yeniden giriş araçlarına çarptıracaktı. Soru, saatte elli altı bin kilometre hızla giden bir etli güveç çarparsa size ne olacaktıydı.

Sınav sona erdiğinde herkes etli güveçten bahsediyordu. Amaçladığım gibi problemin saçmalığı sınavı hazırlayan kişinin sınav sürecinin saçmalığıyla ilgili bir yorumu olarak algılandı ve acımasız bir kabul sınavıyla dolu iki korkunç güne biraz olsun eğlence kattı. Şüphesiz ki kimse problemi çözemedi. Şok dalgalarıyla ilgili bir problemdi, o da genellikle öğrencilerimize lisansüstü kariyerlerinin daha sonraki bir kısmına kadar öğretmediğimiz bir şeydir.¹⁴ O hızlarda her şey (etli güveç, kaya, çelik) kesme mukavemetini yitirir ve bir su balonu halini alır, sonra çarptığı yüzeylerden gelip içine giren ve içinde muazzam hızlarla seken şoklar yüzünden parçalanıp gider. O sene oldukça fazla sayıda olan Rus öğrencilerden bazıları muhtemelen askeri teknolojiye önceden aşina oldukları için çözüme yaklaştı, ama kimse gerçekten doğru cevabı bulamadı. Bir grup öğrenci hatalı roket denklemini yazdığımdan şikâyet etti (ki hakikaten öyleydi), birkaçı da etli güvecin ne olduğunu sordu.¹⁵ Bir parça et olduğunu

¹⁴ Şok dalgalarıyla ilgili klasik bir metin Ya. B. Zeldovich, *Physics of Shock Waves and High Temperature Hydrodynamic Phenomena*'dır (Academic Press, Burlington, MA, 1967). Ayrıca bkz. Ya. B. Zeldovich vd., *Stars and Relativity* (Dover, Mineola, NY, 1997).

¹⁵ En iyi roket kitabı hâlâ R. H. Goddard, *Rockets*'tır (Dover, Mineola, NY, 2002). Ayrıca bkz. G. P. Sutton ve O. Biblarz, *Rocket Propulsion Elements* (Interscience, New York, 2000).

söyledim ve boyutunu ellerimle gösterdim. Daha sonra öğrencilerden birinin kütlesini tahmin etmeye çalışarak çok fazla zamanını boşa harcadığını ve sınavdan çıktıktan sonra efkârlı bir edayla yanına integral tabloları alacağına sözlük alması gerektiğini söylediğini öğrendim.

Bu zalimce numara yanıma kâr kalmadı. Öğrenciler bir araya gelip Neil Simon'ın *Murder by Death*'ini temel alan bir hiciv yazdı ve onu bölümün o yılki Noel partisinde icra etti.¹⁶ Hicvin önermesi Noel Baba'nın kaçırıldığı, her yerdeki çocukların paniğe kapıldığı ve dünyanın en büyük detektiflerinin suçu çözmek için toplandığıydı. Öğrenciler ustalıklı kostümlere bürünmüş halde salonda rol keserek gelmiş geçmiş en büyük detektifin kim olduğu ve en iyi suç kuramının kiminki olduğu üzerine tartıştılar ve sonunda masama gelip, beni mükemmel etli güveç karşı-füze sistemim için kusursuz fırlatma aygıtı olarak kızığını kullanmak amacıyla Noel Baba'yı soymakla suçladılar. Hazırlıklıydım. Masanın altına elimi uzatıp sakladığım kanlı güveci tuttum ve soğukkanlılıkla dışarı çıkardım. "Pekâlâ, kimse kıpırdamasın," dedim. "Bu şey ateşlenmeye hazır ve onu kullanmaktan korkmuyorum."

İnsanlık hali zihnin sınırlamaları ve zayıflıklarıyla lanetlenmiştir ve bunun acı sonuçları da her yanımızda ve örneklendirilemeyecek kadar fazla sayıdadır, fakat zihin aynı zamanda özellikle gençlikte insanlardan rastgele anlarda fışkıran bastırılmaz bir iyimserlik içgüdüsüyle kutsanmıştır. Her zaman bilim insanları (gerçek bilim insanları) olacaktır, bunun basit sebebi de çocuklarının yoldan çıkmasına izin vermemek ve sadece bankacılar, doktorlar ve futbol antrenörleri yetiştirmek için ellerinden gelenin en iyisini yapan sorumluluk sahibi ve iyi ailelerden yetişen birçok anarşist olacak olmasıdır. Yaşlı anarşistler, hayatın pratik tarafları yüzünden öldükçe, yenileri bahardaki yeni çimler gibi yükselip onların yerini alırlar. Bu nesilleri aşan ve tarihten de eski olan bir yaratıcı yeniden doğuş döngüsüdür.

¹⁶ Robin Erbacher'in kötü şöhretli skecinin orijinal metni http://www.stanford.edu/dept/physics/Lighter_Side/Skit'de bulunabilir.

Ray Bradbury'nin *Martian Chronicles*'ında [*Mars Gün-lükleri*] harika bir hikâye vardır. Zaman zaman onu düşünürüm, çünkü bu içkin keşfetme güdüsünü çok hoş bir şekilde ortaya koyar.¹⁷ Hikâye Mars'ın sömürgeleştirilmeye başladığı kurgusal bir gelecekte geçer. Bütün sömürgeciler yakındaki harabeye dönmüş kasabaları inşa etmiş eski, ölü medeniyeti ve Marslıların nereye gittiğini merak etmektedir. Bir sabah bir baba eşine ve iki çocuğuna alçak sesle nihayet Marslıları bulduğunu ve o gün onları görmeye gideceklerini açıklar. Arabayı kapının önüne getirir ve hep beraber arabaya girip uzağa, çöldeki bir Marslı hayalet kasabasına giderler. Yalnızca kendi ayak seslerinin yankılarının bozduğu ürkütücü sessizlikte baba onları eski bir pınara götürür ve suya bakmalarını söyler. Marslılar orada der. Bakarlar ve orada uzaylıları değil kendi akislerini görürler.

Bugün herhangi bir pınarın içine baktığınızda size bir Marslının değil, eski, çoktan ölmüş bir Yıldız Savaşçısının, kendinizin gelecekte ve geçmişte aynı anda yaşayan belli belirsiz bir yankısının baktığını göreceksiniz. Ardından Bradbury'nin hikâyesinde olduğu gibi, o büyük şehirleri gerçekten inşa ettiklerini ve onları gördüğünüzü bilmenin güveniyle eve dönebilirsiniz.

¹⁷ R. Bradbury, *The Martian Chronicles* (William Morrow, New York, 1997).

(On Beş)

GÜNEŞİN ALTINDAKİ PİKNİK MASASI

Bir insan; bir bebeğin altını değiştirebilmeli, bir istila planlayabilmeli, bir domuzu kesebilmeli, bir gemiyi idare edebilmeli, bir bina tasarlayabilmeli, bir sone yazabilmeli, hesaplarını düzeltebilmeli, bir duvar inşa edebilmeli, bir kemiği yerine sokabilmeli, ölmek üzere olanları rahatlatabilmeli, emir alabilmeli, emir verebilmeli, işbirliği yapabilmeli, tek başına hareket edebilmeli, denklemler çözebilmeli, yeni bir problemi analiz edebilmeli, gübre yükleyebilmeli, bir bilgisayar programlayabilmeli, lezzetli bir yemek yapabilmeli, etkili biçimde savaşabilmeli ve yığıtçe ölebilmelidir. Uzmanlaşma böcekler içindir.

R. A. Heinlein

Bütün diğer mesleklerde olduğu gibi üniversitede de rekabete dayalı profesyonelliğin yalnızlığının azaldığı, kişinin başka birinin faturaları ödediği ve ebedi şeylerle ilgili konuşacak zamanın ve öyle yapmaya yönelik bir beklentinin olduğu öğrencilik günlerine geri döndüğü kısa anlar olur. Bu anlar nadiren gelir ve devam etmezler, zira çok geçmeden bulutlar yeniden güneşin önünü kapatır ve bizi pratik sorunlarımıza geri döndürür. Ama güneş parladığı kısa an boyunca ışıyla genç olmanın nasıl olduğuna dair şahane ve hoş karşılanan bir hatırlatıcı görevi görür. Üniversitemin bu anları yaşamak için özellikle iyi bir yer olduğu anlaşılıyor. Bunun sebebi bu anların orada daha çok olması değil, oranın çarpıcı güzelliğinin etkiyi güçlendirmesidir. Anın kendisi gibi yerleşke de karakteristik olarak ışıkla doludur. Bu ışık, çimenli avlulara benekli bir şekilde düşer ve oluklu kiremit çatıları olan, güneşte ışıldayan toprak renkli binaları birbirinden ayıran

palmye ağaçlarının sıralandığı geniş patikaların üzerine dökülür. Yazın ortasında denizden hafif bir sis gelirken kızıl-çamdan bir masada canlı meşe ağaçlarının gölgesi altında oturmak çok ama çok güzeldir. Tepeler kahverengi ve sessizdir, öğrenci kantini hareketsizdir ve birkaç atılğan sincap ve alakarga kuru yaprakları eşeleyerek keşfedilmemiş meşe palamutları aranır. Sonra Gumbrecht şarapla beraber çıkagelir.

Sepp Gumbrecht ile daha önce sadece e-posta vasıtasıyla konuşmuştum, bu yüzden ne beklemem gerektiğinden emin değildim.¹ O e-postaların diğer ucundaki kişinin müthiş bir örgütlenme yeteneği ve Amerika'da nadiren bulduğunuz türden bir kültürel derinliği vardı, dolayısıyla uzun boylu, gözlüklü bir politikacı, uzun zaman yaşamış, savaştan sağ çıkmış, birçok ünlü üniversitede konferanslar vermiş, altı kere boşanmış, bu sayede hayata dair her şeyi bilen bilge bir Avrupalı hayal etmiştim. Bu beklenti oldukça hatalı çıktı. Aslında o bir gözünde tik olan kısa boylu, tıknaz bir ortalık karıştırıcı, gerçekte olduğundan daha saygıdeğer görünme sanatına ustaca vakıf olmuş bir kural tanımazdı. O kutuda taşıdığı şarabın miktarı bu konuda hiçbir kuşku bırakmıyordu.

E-posta alışverişimizin sebebi Sepp'in yıllar boyunca düzenlediği kültürler arası toplantı dizisinin bir parçası olan Disiplinler Arası Belirleme Atölyesiydi. Konu kısmen benim suçumdu, zira birbirimizi anlayamaz hale gelmeden hep beraber konuşabileceğimiz bir konu talep etmesi üzerine bunu önermiştim. Birbirimizi anlayamaz hale gelmemek hayli zor

¹ Profesör Gumbrecht'in çok çeşitli ilgi alanları vardır; bunlar ihtiyatlı Epikürcülük olarak özetlenebilir. İnternette; iyi yiyecekler yemek ve spor izlemek, üniversite hayatının asıl karmaşıklığını canlı tutmak ve üniversiteyi riskli düşünceler için bir sığınak olarak korumak gibi temel zevkleri en üst düzeye çıkarmak istediğini söylediği belirtiliyor. Bkz. H. U. Gumbrecht, *The Powers of Philology: Dynamics of Textual Scholarship* (U. of Illinois Press, Champaign, IL, 2002); T. Lenoir ve H. U. Gumbrecht, *Inscribing Science: Scientific Texts and the Materiality of Communication* (Stanford U. Press, Stanford, 1998); H. U. Gumbrecht, *In 1926: Living on the Edge of Time* (Harvard U. Press, Cambridge, 1997). Ayrıca bkz. <http://www.stanford.edu/dept/news/report/news/november29/gumbrecht-1129.html>.

mikromekanik makinelerin kaçınılmazlığını savunuyordu. Pickstock bir yandan dostça gülümserken bir yandan stratejik olarak konuşmayı varoluşsal olarak coşturucu mevcut olma biçimlerine yönlendiriyordu. Doğum kontrol hapının mucidi Carl Djerassi yakın bir yerde canlı bir şekilde favori konusu olan seks hakkında söylev veriyordu.⁶ Paltosunu Avrupa tarzında omuzlarının üzerine atmış olan Filozof Martin Seel bir başka köşede durmuş düşünceli düşünceli Heidegger hakkında yorum yapıyordu.⁷ Antropolog Denise Schmandt-Besserat yakında durmuş, arada bir kürdana takılmış bir parça kavundan küçük ısırıklar alıyor ve oynak bir Fransız aksanıyla Filistinliler hakkında fikir yürütüyordu.⁸ Arkasında avukat Rich Ford⁹ hızla portakal sularını bitiriyor ve ona yöneltilen fikirleri savunmanın yeniden gruplanması önleyecek şekilde tasarlanmış kısa, makineli tüfek benzeri cümlelerle karşılıyordu. Onun arkasında bilgisayar gurusu Terry Winograd bilgisayarlardan anlamayan birine sabırla yapay zekâyı açıklıyordu.¹⁰ İtalyan bilgin Bob Harrison insanların arasına karışıyor, onlara dair gizli değerlendirmeler

⁶ Profesör Djerassi iki kariyerli bir akademisyen olup önce doğum kontrol hapını keşfetmiş, ardından romanlar ve oyunlar yazmaya geçmiştir. Bkz. C. Djerassi, *This Man's Pill: Reflections on the 50th Birthday of the Pill* (Oxford U. Press, Londra, 2001); C. Djerassi, *The Pill, Pygmy Chimps, and Degas' Horse: The Remarkable Autobiography of the Award Winning Scientist Who Synthesized the Birth Control Pill* (Basic Books, New York, 1998); C. Djerassi, *Oxygen* (Wiley, New York, 2001).

⁷ Profesör Seel kişinin felsefi bakış açısının algıladığı şeyleri ve nihai olarak hayatının gidişatını nasıl değiştirdiğiyle ilgilenir. Bkz. M. Seel, *Ästhetik des Erscheinens* (Hansen, Münih, 2000); ve M. Seel, *Sich bestimmen lassen: Studien zur theoretische und praktischen Philosophie* (Suhrkamp, Frankfurt, 2002).

⁸ Profesör Schmandt-Besserat çivi yazısının ticaret için gereken sayma düzenlerinden geliştiğine dair oldukça akla yatkın bir kuram ileri sürmüştür. Bkz. D. Schmandt-Besserat, *How Writing Came About* (U. of Texas Press, Austin, 1996).

⁹ Profesör Ford'un başlıca ilgi alanları ayrımcılık karşıtlığı ve mülkiyet hukukudur. Bkz. R. T. Ford, *Racial Culture: A Critique* (Princeton University Press, Princeton, NJ, 2004).

¹⁰ Profesör Winograd bilgisayar zekâsının öncülerinden biridir. Öğrencilerinden ikisi internet arama şirketi Google'ı kurdular. Bkz. T. Winograd and F. Flores, *Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design* (Addison-Wesley, Boston, 1987).

yapabilmek amacıyla felsefeyle ilgili hoşbeş ediyordu. Uçuş sersemliğinden mustarip olduğu belli olan filolog Andreas Kablitz yanda durmuş, Avrupa'dan yaptığı uçuşla Dante'nin *Inferno*'su arasındaki benzerlikleri bütün ayrıntılarıyla tarif ediyordu.¹¹ Onun yanında Dean Wlad Godzich dostane ama otoriter bir tavırla Ortadoğu politikası hakkında söylev veriyordu.¹²

Beşeri bilimcilerin tartışmaları nesnelerin değil sözcüklerin etrafında düzenlemek gibi garip bir alışkanlıkları vardır. Fizik bilimindekinin tam tersi olan bu alışkanlığın nedeni muhtemelen işlerin makinelerin değil, insanların nasıl çalıştığını anlamak olmasıdır. Buna uygun olarak kahvaltıdan sonra herkes "belirme" teriminden ne anladığını açıklamaya başladı ve bunu yaparken de Chicago Emtia Borsasının çukurlarındaki bir Pazartesi sabahını hoş bir şekilde taklit etti. "Belirme, belirme eylemidir" gibi güzel ifadelerle dolu iki saatten sonra bu kavramın tuhaf bir şekilde kaygan olduğu, Yargıç Potter Stewart'ın ünlü pornografi nitelemesine benzediği ortaya çıktı: Onu tanımlayamam, ama gördüğümde tanırım.¹³ Ama atölye ilerledikçe kavramlar yavaş yavaş belirginleşti ve sonunda birkaç güçlü örnek süzüldü.¹⁴

Kısmen Edwin O. Wilson'ın çok yaygın televizyon özel programları nedeniyle en net hatırladığım örnek sosyal bö-

¹¹ Profesör Kablitz'in ana ilgi alanı filoloji, en çok da Dante'nin *Divina Commedia*'sının Batı edebiyatındaki diğer önemli eserlerle, özellikle Virgil'in *Aeneid*'i ve İncil ile ilişkisidir. Bkz. A. Kablitz ve G. Neumann, *Mimesis und Simulation* (Rombach, Freiburg, 1998); A. Kablitz ve H. Pfeiffer, *Interpretation und Lektüre* (Rombach, Freiburg, 2001).

¹² W. Godzich, *The Culture of Literacy* (Harvard U. Press, Cambridge, 1994); W. Godzich ve J. Kittay, *The Emergence of Prose: An Essay in Prosaics* (U. of Minnesota Press, Minneapolis, 1987).

¹³ Bu ünlü beyan Yargıç Potter Stewart'ın Jacobellis-Ohio davasının 1964 tarihli Yüksek Mahkeme kararındaki mutabık görüşünde yer alır. Dava Jean Moreau ile kısa bir seks sahnesi içeren Fransız filmi *Aşıklar*'ı gösteren bir tiyatroyla ilgiliydi. Yargıç Stewart filmin aşırı pornografi içermediği gerekçesiyle kararın iptal edilmesiyle mutabık kaldığını belirtiyordu.

¹⁴ Bu beyanlardan bazıları Ağustos 2002'de Stanford İnsan Bilimleri Merkezinde düzenlenen Belirme Atölyesindeki komisyonların ortaya koyduğu raporlardan aynen alınmıştır.

ceklerde kendi kendini örgütlemeydir.¹⁵ Atomların kendi kendini bir araya getirmesiyle ilgili yaptığım bazı yorumlara cevap olarak Sandra arı kovanlarında da bir yöneticinin, kimin ne yapacağına, toplam ekonominin nasıl yapılandırılacağına karar veren bir bireyin olmadığına dikkati çekti. Arılar sadece kendilerini örgütlerler. Bir koloninin doğası tekil arıların davranışlarına kodlanmıştır, tıpkı Conway'in *Life*'inin yapılarının onun basit hareket kurallarına kodlanmış olması ve benzer biçimde zor tahmin edilmesi gibi. Böylece koloni tıpkı basit hücreli otomatların yapıları gibi parçalarının anlamını aşan bir anlam edinir.

Arı ekonomileri hakkında düşünmek doğal olarak insan ekonomileri hakkında düşünmeye yol açar; bu yüzden, sonra o konuya geçtik. Burada Gumbrecht ve Seel bana mahcup edici bir düzeltici eğitim vererek bu fikirlerin Marksizm karşıtı bir havası olduğuna dikkat çektiler. Sosyalizmin temel öncülü, herkesin ortak yararı adına anlaşıldığı kadarıyla insan davranışının bilinen kurallarının devlet tarafından kontrol edilmesi gerektiğidir. Ama eğer ekonomi aslında çikarsayamayacağınız kadar etkili bir şekilde insan davranış kuralları kodlanmış sofistike ilkeler vasıtasıyla işliyorsa bu düşünce acınacak derecede eksik kalacaktır. McDonald'ların çok yaygın olduğu ve WalMart'ların dağ gibi Çin ürünleriyle dolu olduğu bu çağda sık sık ekonomilerin "aşırı karmaşık" oldukları için mikro yönetime izin vermediklerinin söylendiğini duyuyoruz. Bu da bir ekonominin özünün temel kavramlarda (besin, barınma, ulaşım, sağlık, vs) değil onlardan ortaya çıkan daha yüksek seviyeli örgütlenmede olduğunun kabulü olarak özetlenebilir.

Bu şekilde dünya ekonomisini de açıkladıktan sonra bilince geçmek için ilham aldık. Bunu yaptığınızda yaygın biçimde olduğu gibi konuşma çabucak bilincin bedensel olup olmadığı konusuna saplanıp kaldı. Profesör Pickstock bedensel olmadığını ve karşıt görüşün ahlakdışı davranış için ideolojik bir bahaneden ibaret olduğunu savunuyordu. Winograd

¹⁵ Sosyal böcek davranışının iyi bir değerlendirmesi için bkz. B. Holldobler ve E. O. Wilson, *The Ants* (Belknap Press, Cambridge, 1990).

bunun gülünç olduğunu, zihnın bedensel olması gerektiğini ve nasıl işlediğini anlamının hiçbir ahlakdışı tarafının olmadığını söyleyerek karşılık verdi. Ben Terry'nin tarafındaydım, bu yüzden kendimi tutup Duke Nuke'em, internet pornosu ve istenmeyen postalarından bahsetmedim. Terry –bana göre doğru bir şekilde– zihnın bedenselliğinin asit testinin bilinç sergileyen bir makine yapmak olduğuna işaret etti. Ayrıca henüz bunu yapmaya yönelik bütün girişimlerin başarısız olduğunu, dolayısıyla Profesör Pickstock'ın savının doğru olup olmadığının hâlâ belirsiz olduğunu kabul etti. Şu anda bilgisayar bilimcilerinin başarısızlığın teknik olduğunu ve başarısızlığın köklerinin bir bilgisayarın yaptığı her şeyin mikro yönetimini yapmanın temel imkânsızlığından kaynaklandığını düşündüklerini söyledi. Eğer bilinç, programın kendisinin içinde yer almıyorsa, onun yerine programın ürettiği mantıksal yapıların belirterek kendi kendini örgütlemesinin sonucuysa, ancak ilgili örgütlenme ilkelerini tamamen kavradıktan sonra bilinçli makineler inşa edebilirsiniz. Terry işte bunun “uyarlamalı” davranış yeteneği olan, yani kural tabanlarını önceki eylemlerin sonuçlarına tepki olarak değiştirebilen programlar oluşturmaya yönelik modern hareketin ardındaki itki olduğunu belirtti.

Zihni oluşturan mantıksal yapılardan zihnın yaptığı mantıksal yapılara geçtik. Oldukça iyi belgelenmiş olan içtihat bilimi vakasıyla başladık. Rich bize şu anda mevzuatın nesnel olup olmadığı tartışmasının hukuk bilginleri dünyasını kasıp kavurduğunu söyledi. İngiliz ve Amerikan hukukçularının tipik olarak yasal anlaşmazlıkların kapsayıcı ilkelere veya politika amaçlarına göre mantıksal olarak karara bağlanabileceklerini ve bağlanması gerektiğini ileri süren “rasyonalist” görüşü paylaştıklarını belirtti. Ama yasama meclislerinin yazdıkları kanunlar aslında çoğu zaman belirsizdir, bu uygulama da mahkemelere kanunun gerçek anlamını tespit etme yönünde çok büyük bir serbestlik tanıır. Ancak bir emsal izi oluşturulduktan sonra böyle kanunlar tahmin edilebilir sonuçlarla uygulanabilir. Rasyonalist bakış açısından, mahkemelerin kanun yapma yönündeki fi-

ili gücü kötü mevzuatın belirtisi, yani izini sürüp ortadan kaldırmak isteyeceğiniz bir şeydir. Ama giderek büyüyen bir "akıldışı" bilginler grubu böyle bir belirsizliğin ve onun daha sonra kanunu odaklamak için yasal sistemi görevlendirme-
sinin patolojik olmak bir yana, bütün mevzuatların doğası-
nın temeli olduğuna inanır. Bu bilginler hukukun tamamen
mantıksal bir gelişiminin ne mümkün ne de arzu edilir oldu-
ğunu ileri sürerler.

Hukuk tartışmasının Carl'ı onun büyük icadını ve çok önem verdiği başka şeyleri doğrudan etkilenmiş olan teknik düzenlemeler konusunda aşırı derecede sinirlendirmek gibi bir yan etkisi oldu, Carl düzenleyici yasaların sık sık değiş-
ken ve kötü tasarlanmış olduğundan ve bunun kökünde yatan
sebebin yasa koyucuların önemli teknik yeniliklerin büyük,
kestirilemez sonuçlar doğurmasına yol açan sosyal dinamiği
yeterli ölçüde anlamaması olduğunu söyledi. Zikrettiği özel
bir vaka giderek artan bir trend olarak doğurgan genç kadın-
ların yumurtalarını korunarak yıllar sonra döllenmeleri için
çıkartılmaları ve dolayısıyla çocuk doğurmayı tehlikeli 38 yaş
sınırının sonrasına ertelemeleriydi; bu kısırlık tedavisinin
öngörülmemiş bir sonucuydu. Carl böyle gelişimleri kontrol
etmenin mümkün bile olmadığını ve toplumumuz için en iyi
hareket tarzının bunların bitmesine izin vermek, sonra tarihi
durumu düzenleyici yasalara göre değil, düzenleyici yasaları
tarihi duruma göre uyarlamak olduğunu iddia etti.

Carl'ın hararetli avukat kötölemesinden cesaret alan De-
nise, Carl'ın dinamiğinin klasik bir örneğinin (aynı zamanda
zihnin önemli bir örgütlenmeye dayalı eserinin) yazının icadı
olduğu gözlemini yaptı. Konuyla ilgili tarihsel gerçekler ne
yazık ki tartışmalıdır.¹⁶ Bazı bilginler yazının MÖ 3300 ci-
varında Mezopotamya'da ortaya çıktığını, sonra da oradan
dünyanın diğer kısımlarına yayıldığını ileri sürerler. Baş-
kaları yazının en az üç farklı konumda (Yakın Doğu, Çin ve

¹⁶ Yazının kökeniyle ilgili kuramların bir değerlendirmesi için bkz. P. T. Daniels ve W. Bright, editörler, *The World's Writing Systems* (Oxford U. Press, New York, 1996). Ayrıca bu konuda yazılım mühendisi. L. K. Lo'nun yönettiği mükemmel bir internet sitesi de vardır. Bkz. <http://www.ancientscripts.com>

Mezoamerika'da) hemen hemen bağımsız olarak geliştiğine inanırlar. Ama Denise en azından Antik Yakın Doğuda yazının sayma teknolojisindeki bir ilerleme sayesinde patladığına dair güvenilir kanıtlar olduğunu açıkladı. Bu sayma kabiliyetinin hayatta kalmak için bir ön koşul olduğu bir tarım toplumdur. Denise belli bir noktada birinin kilden mallar temsil edecek basit geometrik şekiller halinde kalıba dökülmüş semboller kullanmaya karar verdiğini söyledi. Bu ilk basit adım sonra çığ gibi büyüyen bir dizi zorluk ve karşılık vasıtasıyla yazının ortaya çıkmasına yol açmış.

Yazıya dair tartışma, dilin kendisinin nereden geldiğiyle ilgili geniş kapsamlı bir fikir alışverişine dönüştü. Bu gelişme şüphesiz ki yazıdan çok daha önce gerçekleşti ve buna bağlı olarak gerçeklere dayalı bir şekilde ele alınması daha zordur. Ama Wlad tarihi kayıtlarda çok etkileyici bir ipucu olduğuna dikkati çekti. Bugün düzyazı, yazıyı ve düşünceyi düzene sokmanın doğal bir yolu olarak öğretilir; ama bu yanlıştır. Şiir düzyazıdan değil, düzyazı şiirden doğmuştur. Motifleri her şeyin daha kolay hatırdan kalmasını sağlayan şiir ritimleri ve uyak önce ortaya çıkmış, bunlar daha sonradan düzyazıya dönüştürülmüştür.

Bütün sabah boyunca bunların ve başka zorlu konuların arasında sıçramak beklendiği üzere yorulmamıza, ilimizi yitirmemize ve sonunda hayatın anlamı gibi basit konulara çekilmemize neden oldu. Fakat bu bile yerinde oldu. Sandra bir hayatı planlama tutkusunun son derece belirsiz olduğuna, çünkü kişinin karşısına çıkan sürprizlerin (hastalık, boşanma, doğum, iş kaybı) önceden kestirilemeyecek büyük etkilerinin olduğuna dikkati çekti. Çoğumuz sezgisel olarak zihinsel sağlığını korumanın zor durumlara ayak uydurmaktan ve esnek bir şekilde karşılık vermekten, bu arada da yaşam öyküsünü oluşturmaktan geçtiğini biliriz. Martin Seel'in kitabı *Sich Bestimmen Lassen*'in başlığı ("Kararlı Olmanıza İzin Verin") bu sağduyulu fikri gayet iyi yakalar. Kitabın ana fikri, insan etkinliği (praksis) alanında bazı şeylerin kontrol edilemeyeceği, bunun yerine kendi başlarına gerçekleşmelerine izin verilmesi gerektiğidir.

Her seferinde, öğlen olduğunda artık kimsenin kafası çalışmıyordu, bu yüzden sunulan öğle yemeğini yemek üzere minnettarlıkla dışarıya, sıcak günışığına geçtik. Bu öğle yemeği Sepp'in o kutuda getirdiği muazzam şarap stoğunu da kapsıyordu. Doğal olarak öğle yemeği uzadı, doğal olarak hepimiz kadehlerimizi doldurmak için geri gittik ve doğal olarak Sepp'in kutusu yavaşça sabahki karmaşayı uyumlu bir şeye döndürmeye başladı. Bir ustanın planının tam gelişmesini planladığı gibi gelişmesini izlemek harika bir şeydir.

Gerçekleşmesi yaklaşık bir saat sürdü. Gelişigüzel dostane sohbetler yavaş yavaş bir araya gelerek gittikçe daha ciddileşen toplu bir çabaya dönüşerek tartışılmış olan konulardan "belirme"nin bir tanımını sentezlediler. Katılımcılar akademisyen oldukları için ayrıntıları doğru anlayıp genel tabloyu yanlış anlama tehlikesini de göz ardı ettiler –altı kör adamın gövde, diz, kuyruk ve diğer yerlerden yaptıkları bireysel ölçümlerden "fil"in anlamını sentezlemeye çalışıp başarısız oldukları hikâyedeki gibi– ve dosdoğru konuya girişip ve nihayet bir cevap buldular: Belirme basit kurallardan karmaşık örgütlenme yapılarının büyümesi demektir. Belirme bazı şeylerin oluş şeklindeki istikrarlı bir kaçınılmazlıktır. Belirme küçük olayların daha büyük olaylarda büyük ve niteliksel değişikliklere neden olması anlamında kestirilemezlik demektir. Belirme kontrolün temel olanaksızlığı demektir. Belirme insanların tabi olduğu bir doğa yasasıdır. Bir başka deyişle, bu teknik olarak özürlü insan bilimleri ekibi, ilkel dünyada işlediğini ölçüm yoluyla bildiğimiz soyut ilkeleri *tam olarak* belirlemişti. Ne kadar ilginç.

Bu sonuca şaşırmamıştım, zira bu paralellerin apaçık ortada olduğunu ve sadece ortaya çıkmak için doğru yere ihtiyaç duyduklarını hissetmiştim. Yine de buna tanık olmak sevindiriciydi. Bunun tam olarak ne anlama geldiği uzun süre tartışılabilir, ama benim sevdiğim açıklama basittir: İnsan davranışı doğayı andırır, çünkü doğanın bir parçasıdır ve diğer her şeyle aynı kanunlarla yönetilir. Bir başka deyişle, ilkel şeylerden yapıldığımız için onları andırırız; onları zihinlerimizle insanlaştırdığımız ya da kontrol ettiğimiz için

değil. Bir hayatın örgütlenmesiyle elektronların örgütlenmesi arasındaki paraleller kaza ya da sanrı değil, fiziktir.

Hepimiz üniversitelerin amacını zaten anlayan akademisyenler olduğumuz için açıkça ele almadığımız can alıcı derecede önemli bir “beliren” olgu, bizimki gibi kendi kendine toplanmış insan gruplarının yeni fikirler üretmesidir. Kayınpederim cin tonik ile silahlanmış olsa da olmasa da, çocukların neden okumayı öğrendiğini kimsenin bilmediğine dikkati çekmekten hoşlanır. Öylece öğrenirler işte. Benzer biçimde hiç kimse bir insanın zihninin neden yetişkinlik boyunca ve yaşlılığa kadar değişmeye ve büyümeye devam ettiğini bilmez. Öylece devam eder. Biz akademisyenler genç yetişkinlikte meydana gelen oldukça hızlı zihinsel gelişimi kendimize yontmayı severiz, ama buna hakkımız yoktur. Kasım kasım kasılmamız yalnızca benimki gibi bir kurumda zeki öğrencileri görünürde daha az zeki olanlardan ayırmak için şeytanla yaptığımız anlaşmanın parçasıdır. Hiçbir anne-baba evladının rekabetten uzak olmasını istemez, ama her anne-baba evladının hayattaki iyi şeyleri tecrübe etmesini ister, onlardan biri de olayları ilk defa anlamının ve çok farklı olduğunu zannettiği meselelerin aslında hiç farklı olmadığını keşfetmenin verdiği zevktir. Ben de bir babayım ve icra etmek yerine yaşamak ve öğrenmek için doğru yerin sınıf değil revak ya da onun modern eşdeğeri olan güneşin altındaki piknik masası olduğunu bilirim.

Bu hikâyenin sonu insanı rahatlatacak kadar sıradan olup el üstünde tutulan fildişi kule öncelikleriyle ilgili çok ihtiyaç duyulan bir gerçeklik kontrolü sunar. Öğleden sonra yakındaki Santa Cruz Dağlarında bulunan Djerassi’nin çiftliğine muhteşem bir yolculuk yaptık. Djerassi orayı sanatçılar için bir sığınağa dönüştürmüştür. İnanılmayacak kadar pahalı heykel bahçesinde yürüyerek Djerassi’nin zevkini, görkemli ağaçlık ortamı ve uzaktaki Pasifik’in üzerinden bakan güneşin verdiği huzuru takdir edersiniz. Burada da mükemmel bir doğum kontrol esprisi vardır, zira mekânın ismi olan SMIP’in açılımı Syntex Made It Possible’dır (Syntex Sayesinde Oldu). Bu gezinin ardından Los Gatos’ta Manresa

isminde, büyük bir sanatkâr-aşçının işlettiği Manresa diye bir mekanda akşam yemeği için toplandık. İşletmeci *nouvelle* tarzında minyatür göz ziyafetleri yaratmış, bohem mum ışığı ve dünyanın uzak köşelerinden getirilmiş eşyalarla bunları daha da vurgulamıştı. Sepp düşünceli bir hareketle bu yemek için uzun bir limuzin kiralamış, böylece bizi aşırı içmek konusunda endişelenmekten kurtarmıştı. Yemekten sonra limuzinle yerleşkeye geri döndük, adreslerimizi değiş tokuş ettik ve vedalaştık, ondan sonra da karanlıkta bisikletle eve döndüm. Eve vardığımda eşime olanları açıklamaya çalıştım. O atölyenin insan bilimleriyle ilgili yönleriyle benden daha da fazla ilgilendi (çoğu fizikçi eşi gibi), ama belli ki açıklamayı başaramadım. Kötü bir günle ilgili bir şeyler mırıldanarak beni yatağa yatırdı.

Rüyamda karısını aldatan profesörle ilgili ünlü hikâyeyi gördüm. Adam sabaha karşı üçte giysileri buruşmuş, saçları darmadağın olmuş, kravatı çözülmüş halde eve gelmiş ve ayaklarının ucunda yatak odasına gitmiş. Bir anda ışık açılmış. "Bir açıklama istiyorum," demiş karısı. "Şey," demiş profesör süklüm püklüm, "İtiraf ediyorum. Çocuklarla dışarıda içiyorduk, sonra kumarda biraz para kaybettim, kadınlar da vardı." "Beni kandıramazsın," demiş kadın bilgiç bilgiç. "Fizikle uğraşıyordun."

Yıllardır devam eden akademik çabalarımın İncil'deki Âdem ile Havva'nın hikâyesinin aslında hatalı olduğu sonucunu çıkardım. Yılanın Havva'ya bilgi elmasını yemesini söylediği, onun da öyle yaptığı, sonra elmayı Âdem'e ikram ettiği, sonuç olarak Tanrı'nın her ikisini çalışma ve ölüm işkencesiyle cezalandırdığı doğru değil. Aslında şöyle oldu: Âdem ile Havva, yılanı *Bilgi* adında bir Çin restoranında yemişler ve yemeği liçiler ve şans kurabiyeleriyle bitirmişler. Adam kurabiyesini açmış ve okumuş: "İşte evrenin denklemleri. Hesaplarında iyi şanslar." Sonra Havva kurabiyesini açmış ve okumuş: "Bu adamın söylediği hiçbir şeye inanma." Böylece bildiğimiz anlamdaki dünya başlamış.

(On Altı)

BELİRME ÇAĞI

Her zaman; evrene, tek bir özü ve tek bir ruhu olan tek bir canlı varlık olarak bakın; nasıl bütün şeylerin tek bir algıya ve bu tek canlı varlığın algısına referansının olduğunu; nasıl bütün şeylerin tek bir hareketle davrandığını ve nasıl bütün şeylerin var olan bütün şeylerin işbirliği yapan nedenleri olduğunu gözlemleyin; ayrıca ipliğin sürekli dönüşünü ve ağın dokunmasını da gözlemleyin.

Marcus Aurelius

Mutlu bir hayat sürmek için yararlı bir temel kural yeni çağlar konusunda aşırıya kaçmamaktır. Birçok yeni çağı hatırlayacak kadar yaşıyım, özellikle de Kova Burcu Çağını. Bu çağ astrologların başladığını söylediği 17.35 Greenwich saati, 23 Ocak 1997'de aslında çoktan bitmişti. Yeni çağlar vaat etmek modern toplumun tanıdık bir özelliğidir, bunun en önemli sebebi de çoğumuzun daha güzel bir yarına inanan iyimserler olması, dolayısıyla ahlaksız öneriler için kolay lokmalarızdır. Örneğin Kova Burcu Çağı umduğumuz gibi aydınlanma, barış ve sevgi değil, profesyonel endişeler ve aile vazifeleri ve onların tuzu biberi olan AIDS, McJobs, *lessness* (yokluklar) ve biyolojik savaş getirdi.¹ Yeni bir kat mülkiyeti ya da yeni bir araba gibi, yeni bir çağ da biraz eskiyip değer kaybettikten sonra şüphe çekici bir biçimde yerini aldığı çağa benzemeye başlar.

¹ "Lessness" İngilizcede ilk olarak 1635'te geçtiyse de fiilen bir yeni sözcüktür. *Bkz.* D. Coupland, *Generation X: Tales for an Accelerated Culture* (St. Martin's Press, New York, 1992).

Yeni çağların çekiciliği hepimizin zaman zaman kapıldığı En Üstün Gerçeği arama güdüsüyle aynıdır. Örneğin demin internetin baştan çıkarıcılığına teslim olarak biraz sörf yaptım. Her zamanki Hristiyan sitelerine ek olarak En Büyük Gerçek ve Nirvana'ya, En Büyük Gerçek ve Güney Amerika'daki Nazilere, En Büyük Gerçek ve Dış Uzaydan Gelen Uzaylılara, En Büyük Gerçek ve Kuran'a, Cary Grant hakkında En Büyük Gerçeğe, En Büyük Gerçek Çevrimiçi Dergisine, Rus Rock and Roll Gruplarında En Büyük Gerçeğe, En Büyük Gerçek pornografik videolarına ve Kapitalist Faydacı Tinden Uzaklaşmış Evrenin En Büyük Gerçeğine atıflar buldum. Bu güdünün en büyük taşlaması Douglas Adams'ın *Hitchhiker's Guide to the Galaxy*'sidir [Otostopçunun Galaksi Rehberi]. Bu kitapta Derin Düşünce isimli bilgisayar 7,5 milyon yıl boyunca çalıştıktan sonra Hayat, Evren ve Her Şeyin En Büyük Sorusunun cevabını bulduğunu açıklar. Cevabın kırk iki olduğunu söyler.² Toplanmış bilim insanları sonra Derin Düşünce'den cevap bu olsa da *sorunun* belirsiz olduğunu öğrenirler, bu yüzden ona soruyu bulmak için daha da büyük bir bilgisayar olan Dünyayı tasarlaması talimatını verirler. Dünya inşa edilir ve sonra üç milyar yıl boyunca sorun hakkında düşünür. Ne yazık ki çözümü açıklamasına beş dakika kala Vogonlar tarafından yok edilir.

En büyük gerçeği hicvetmek kolaydır, çünkü bu çoğumuzun yaşam için çok önemli, ama pratik bir konu olarak çoğu zaman oldukça yararsız bulduğu bir kavramdır. En büyük gerçeğe kafayı takmış bir insan, parasından olmak isteyen bir insandır ki bu en iyi *Candide*'de ortaya koyulmuş bir arketiptir. En büyük gerçeğin anlamı da karışıktır. Örneğin kimi zaman Altın Kural gibi sağduyulu pragmatizmin kuralları işlemediğinde uygulanan ve dolayısıyla bir kişinin etik özünü belirleyen ahlaki bir ilke demektir. Bu açıkça yararlıdır, ama kişinin kafasında yaşayan yazılım olduğuna, bu yüzden kimyanın ve fiziğin altta yatan en büyük gerçeklerine

² D. Adams, *The Hitchhiker's Guide to the Galaxy* (Ballantine Books, New York, 1995). Bu kitap ilk olarak 1975'te yayımlandı ve BBC tarafından televizyon dizisine uyarlandı.

tabi olduğuna yönelik eleştirilere açıktır. Başka zamanlar En Büyük Gerçek anlamı olan yaygın bir olay demektir, örneğin park yerlerinin yalnızca onlara ihtiyaç duymadığınızda mevcut olması gibi. Diğer zamanlar içinden diğer her şeyin aktığı derin doğa kanunları anlamına gelir; bunların canlıların kurallarıyla karıştırılması kırk iki gibi saçmalıkları doğurur.

Bilimin düşünceye yaptığı en ilginç katkılardan biri doğada ilkel seviyelerde de karşılaştırılabilir bir çatışmanın meydana geldiğinin keşfidir. Bunun öyle olmasının makul olduğu ileri sürülebilir, ama bazı sistemlerin basitliği bir adım ileri gitmemize ve böyle olduğunu *ispat etmemize* imkân tanır. Doğüstü müdahalenin olmadığını kanıtlamak kategorik olarak her zaman zor olsa da, bu seviyede ona ihtiyaç olmadığını ve bütün bu mucizevi davranışların altta yatan kanunlardan gelen kendiliğinden örgütlenme olguları olarak açıklanabileceğini kesinlikle biliyoruz. Ayrıca hidrodinamik gibi basit ve mutlak bir kanunun alttaki daha derin kanunlardan gelişebilse de aynı zamanda onlardan bağımsız olduğunu, zira o derin kanunlar değiştirilse bile aynı kalacağını da biliyoruz.

Bu etkileri ciddi biçimde düşünmek kişiyi hangi kanunun, her şeyin içinden aktığı ayrıntıların mı, yoksa onların ürettiği aşkın, beliren kanunun mu daha üstün olduğunu sormaya sevk eder. Bu soru anlambilimseldir, bu yüzden de mutlak bir cevabı yoktur, ama açıkça canlıların kanunlarının kimya ve fizik kanunlarına tabi olduğu iddiasının gündeme getirdiği ahlaki ikilemin ilkel bir versiyonudur. Bir insanın nasıl kolaylıkla bunlardan birinde ustalaşıp, diğeri hakkında hiçbir şey öğrenemeyebileceğini alegorik olarak gösterir. Epistemolojik engel mistik değil fizikseldir.

En üstünün iki kavramsallaştırması (parçaların kanunları ya da toplu olanın kanunları) arasındaki çelişki çok eskidir ve birkaç dakika kafa patlatarak ya da gelişigüzel konuşarak çözülemez. Bunun iki düşünce kutbu arasındaki gerilimi temsil ettiği ve klasik dizinin ilk bölümüyle baskın bölümü arasındaki gerilimin bir klasik müzik sonatını gütmesi gibi dünyayı anlama sürecini güttüğü söylenebilir. Tarihte belir-

li bir anda belirli bir kutup diğerinden daha güçlü olabilir, ama hâkimiyeti yalnızca geçicidir, zira hikâyenin özü çatışmanın kendisidir.

Çağlar fkrinden hoşlanmasam da, bilimin artık İndirgemecilik Çağından Belirme Çağına, yani olayların nihai sebeplerine yönelik arayışın parçaların davranışından toplu olanın davranışına kaydığı bir döneme geçtiğine dair iyi deliller gösterilebileceğini düşünüyorum. Bu geçişin meydana geldiği belirli özel bir an tanımlamak zordur, çünkü aşamalıdır ve mitlerin sürekliliği yüzünden biraz gölgede kalmıştır, ama şimdiki baskın paradigmanın örgütlenme olduğuna kuşku yoktur. Örneğin elektrik mühendisliği öğrencilerinin artık elektrik kanunlarını öğrenmeye mecbur tutulmamalarının sebebi budur – bu kanunlar çok zarif ve aydınlatıcı olsalar da bilgisayarların programlanmasıyla ilişkili değildir. Kök hücrelerin haberlerde yer almasının, ama enzimatik işlevlerin sabun kutularındaki küçük yazılarla sınırlı kalmasının sebebi budur. Marie Curie ve Lord Rutherford ile ilgili filmlerin demode, *Jurassic Park* ve *Twister*’ın moda olmasının sebebi budur. Bu yeni filmlerin kahramanları mikroskobik nedenlerle değil değişken örgütlenme olgularıyla ilgilenirler – “Arrrggghhh! Dosdoğru bize geliyor!” da olduğu gibi.

İronik olan şudur ki, indirgemeciliğin başarısı tam da çöküşüne zemin hazırlayan şey oldu. Zaman içinde mikroskobik parçaların özenli niceliksel incelemesi, en azından ilkel seviyede toplu örgütlenme ilkelerinin sadece tuhaf, küçük bir gösteri değil *her şey*, belki de bildiğimin en temel kanunlar da dâhil fiziksel kanunların gerçek kaynağı olduğunu ortaya çıkardı. Ölçümümüzün hassaslığı, tek bir en büyük gerçek arayışının sona erdiğini, ama aynı zamanda başarısız olduğunu güvenle ilan etmemize imkân veriyor; çünkü artık doğanın her biri üsttekinden kaynaklanan, sonra ölçüm ölçeği arttıkça o üsttekini aşan gerçeklerden oluşan devasa bir kule olmadığını ortaya çıkardı. Kolomb ya da Marko Polo gibi yeni bir ülkeyi keşfetmek için yola çıktık, ama onun yerine yeni bir dünya keşfettik.

Belirme Çağına geçiş, matematiğin mutlak gücü miti- nin sonunu getiriyor. Bu mit ne yazık ki hâlâ kültürümüzde yerleşik. Basının ve popüler yayınların en üstün kanunları aramayı uğraşmaya değer yegâne bilimsel etkinlik olarak göstermesi –tersini gösteren çok fazla sayıda ve çok kuvvetli deneysel kanıt olduğu halde– bu gerçeği düzenli olarak orta- ya koyuyor. Kuralların doğru olduğunu göstererek, sonra da çok zeki insanlara o kurallarla olayları tahmin etmeleri için meydan okuyarak indirgemeci miti çürütebiliriz. Bu tahmin- leri yapamamaları *Oz Büyücüsü'nün* Dorothy'yi Kansas'a geri döndürmekte zorluk çekmesine benzer. Prensip olarak bunu yapabilir, ama çözülmesi gereken birkaç sinir bozucu teknik ayrıntı vardır. O zamana kadar kişi boş tanıklıklar ve perdenin arkasındaki adama aldırmamayı salık veren tavsi- yelerle idare etmelidir. Gerçek sorun Oz'un Kansas'tan farklı bir evren olması ve birinden diğerine gitmenin mantıklı ol- mamasıdır. Kanunun sonucu olan toplu davranış miti pra- tik bir konu olarak tam anlamıyla çağdışıdır. Aksine; kanun, mantık ve matematik gibi ondan akan şeyler toplu davranı- şın sonucudur. Zihinlerimizin fiziksel dünyanın yaptığı şey- leri kestirebilmesi ve ona hâkim olabilmesinin sebebi dahi olmamız değil, doğanın kendini düzenleyip kanunlar ürete- rek anlayışı mümkün kılmasıdır.

Şu anki çağla yeni geride bıraktığımız çağ arasındaki önemli bir fark, iyi kanunların yanı sıra kötü kanunların da olduğunun bilinmesidir. Sertlik ya da kuantum hidrodina- miği gibi iyi kanunlar koruma, yani bazı ölçülen miktarların örnek kusurlarına ya da hesaplama hatalarına duyarsızlığı yoluyla matematiksel öngörü gücü yaratırlar. Dünya sade- ce iyi kanunlar içeren mutlu bir yer olsaydı, matematiğin her zaman kestirimci olduğu ve doğaya hâkim olmanın her zaman yeterince büyük ve güçlü bilgisayarlar edinmekten ibaret olduğu önermeleri doğru olurdu. Koruma bütün ha- taların icabına bakardı. Ama gerçekte yaşadığımız dünyada karanlık kanunlar boldur ve hataları ağırlaştırıp ölçülmüş miktarları kontrol edilemeyen dış faktörlere son derece duyarlı hale getirerek öngörü gücünü yok ederler. Belirme

Çağında karanlık kanunlara karşı tetikte olmak ve ustaca onlardan uzak durmak zorunludur, çünkü bunu yapmamak kişiyi kuruntulu tuzaklara götürür. Bu tuzaklardan biri farkında olmadan İlgililik Engelini aşmak, bu nedenle de görünürde mantıklı olan neredeyse aynı öncüllerle başlayan ve son derece farklı sonuçlara ulaşan yollar üretmektir. Bu etki meydana geldiğinde deneyle ayırt edilemeyen şeyler için alternatif “açıklamalar” üreterek tartışmayı politikleştirir. Bir başka tuzak Hilekâr Hindiyi, yani ölçüm teknolojisi ne kadar gelişirse gelişsin her zaman odağın hemen dışında ve erişilemez bir yerde olmayı beceren hatalı kanunu avlamaktır. Karanlık kanunların ürettiği belirsizlikler, aynı zamanda sahte karlılığı da kolaylaştırır; zira ölçüm yapan kişinin hevesine aşırı duyarlı olan, dolayısıyla fiilen bir görüş olan bir şeyin niceliksel ve bilimsel olarak yaftalanmasına izin verir.

Yunan panteonu, bir dizi politik ödün vasıtasıyla ortaya çıktı. Bir kabile ya da grup, savaşta bir diğerine üstün geldiğinde kaybeden tarafın tanrılarını yok ederek değil (bu çok zordu) o tanrılarını kendi tanrılarına tabi kılarak otoritesini kullanırdı.³ Dolayısıyla AntikYunan mitleriYunan medeniyetinin birleşmesinin ilk dönemlerinde gerçekleşmiş gerçek tarihi olayların alegorileridir. O durumdaki “deney” savaş iken ve açığa çıkardığı “doğru” bir politik gerçeklik iken, mitolojik kanunlar icat etmenin psikolojik öğeleri bugün fiziksel kanunları tanımlamak için kullandığımız öğelerle aynıydı. İkinin de patolojik insan davranışları olduğunu hissedebilirsiniz, ama ben politikanın ve genel olarak insan toplumunun doğadan ortaya çıktığını ve aslında ilkel fiziksel olguların sofistike, yüksek seviyeli versiyonları olduklarını savunan daha fiziksel görüşü tercih ederim. Bir başka deyişle, fizik politikanın değil, politika fiziğin bir alegorisidir. Her koşulda; benzerlik, bilimin bir kere politik hale geldikten sonra devlet dininden ayırt edilemediğini bize hatırlatır. Oybirliği yoluyla doğruluk sisteminde sahte tanrılarının bir menfaat meselesi olarak sistematik biçimde panteonda yüceltilmesi

³ R. Graves, *The Greek Myths, Vol. I* (Penguin Books, Baltimore, MD, 1961), s. 31.

ve ara sıra da tıpkı Antik Yunan'da olduğu gibi ve aynı sebeplerle evrendoğumun kurgusal hale gelmesi beklenir.

Yunan yaratı mitleri modern hayattaki birçok şeyi, özellikle evrenbilimsel kuramları hicvederler. Dinamit ya da büyük patlama gibi patlayan şeyler dengesizdir. Dolayısıyla büyük patlamanın ilk pikosaniyeleri de dâhil olmak üzere patlamalarla ilgili kuramlar İlgililik Engellerini aşarlar ve yıldızların yüzeylerindeki izotop bollukları ve kozmik mikrodalga arka plan eşyönsüzlüğü gibi yaygın biçimde alıntılanan destekleyici "kanıtlar"a rağmen doğaları gereği yanlışlanamazdırlar. Bu kanıtları ileri sürmek, bir kasırganın fırtına hasarından atomların özelliklerini çıkarsamak gibidir. Büyük patlamanın ötesinde muhtemelen şişme döneminden önce oluşturulmuş olan farklı özelliklere sahip, ama şimdi ışık ufkunun ötesinde oldukları için esas olarak tespit edilemeyen bebek evrenler gibi *gerçekten* yanlışlanamaz olan kavramlar vardır. Onun da ötesinde antropik ilke, yani gördüğümüz evrenin içinde olmamız yüzünden sahip olduğu özelliklere sahip olduğu "açıklama"sı vardır. Voltaire'in bu malzemeyle ne yapabileceğini hayal etmek eğlencelidir. *Contact*'te Jodie Foster'ın oynadığı kahraman erkek arkadaşına Tanrının insanlar tarafından evrenin enginliğindeki yalıtılmışlık ve savunmasızlık hislerini telafi etmek için yaratılmış olabileceğini ileri sürer. Evrenin kökenine dair yanlışlanamaz kuramlardan bahsetmiş olsa daha isabetli olurdu. Bu kuramların politik dinamiğiyle Antik Yunanlarınki tıpa tıp aynıdır.

Evrenbilimsel kuramların politik doğası, aslında çok az ortak noktalarının olduğu bir matematik alanı olan sicim kuramıyla nasıl bu kadar kolaylıkla birleşebildiklerini açıklar. Sicim kuramı bütün bilinen madde türlerinin –sıcak nükleer madde dâhil– temelini oluşturduğu deneysel olarak kanıtlanmış olan nokta parçacıklardan değil genişletilmiş nesneler olan sicimlerden yapılmış hayali bir madde türünü konu alan bir alandır. Sicim kuramını düşünmek gayet eğlencelidir, çünkü iç ilişkilerinin birçoğu beklenmeyecek kadar basit ve güzeldir. Fakat en üstün kuram mitini sür-

dürmek dışında pratik bir kullanımı yoktur. Doğada sicimlerin varlığına dair deneysel bir kanıt yoktur, sicim kuramının özel matematiği de bilinen deneysel davranışın daha kolayca hesaplanmasına ya da kestirilmesine izin vermez. Dahası, günümüzün kudretli hızlandırıcılarıyla erişilebilen karmaşık spektroskopik uzay özellikleri sicim kuramında sadece "düşük enerjili fenomenoloji" (maddenin ilk prensiplerden hesaplanması imkânsız aşkın beliren özelliklerini belirten küçümseyici bir terim) olarak açıklanabilir. Sicim kuramı aslında tipik bir Hilekâr Hindi durumu, her zaman erişimin biraz dışında kalacak güzel bir fikirler kümesidir. Daha iyi bir yarın için harika bir teknolojik umut olmak bir yana dursun, belirmenin hiç rol oynamadığı ve karanlık kanunların var olmadığı modası geçmiş bir inanç sisteminin trajik sonucudur.

Yunan diniyle benzeşim bilim insanları arasında kimin beliren tanrısının daha güçlü olduğunu anlama amaçlı savaşların günlük gerçeklik olduğu, araştırma spektrumunun daha alçak gönüllü olan ucu için de geçerlidir. Bunun tipik bir örneği sıradan yarı iletkenliktir. Ben ilkokuldayken yarı iletken fizikçileri kabilesinin Silikon Vadisinde barış içinde yaşadıkları ve kristallik tanrısına taptıkları, onun kızları valans bandı ve iletkenlik bandının da transistör eylemine ve refaha yol açtıkları söylenirdi. Ama sonra bu kabile düşman bir kimyacılar kabilesinin istilasına uğradı. Bu kabile kristale değil moleküle tapıyor ve *onun* evladı olan en düşük boş molekül yörüngesinin ve en yüksek dolu molekül yörüngesinin transistör eyleminin gerçek nedeni olduğuna ve eski tanrılara tapanların aşağı ve kirli olduklarına inanıyordu. İki kabile arasında kanlı bir savaş yaşandı; bu savaş dezenformasyonla, pis alavere dalavereyle ve diğer kabilenin tanrılarının ismini anmayı reddederek yürütüldü. Her iki kabile de bu yolla diğerini araştırma dolarlarından yoksun bırakmayı, böylece onu yok etmeyi umuyordu. Savaş açmazla sonuçlandı ve bu açmazın izleri bugün hâlâ varlığını koruyor. Bu tür çatışmalarda sık sık olduğu üzere, savaş gerçekte kavramsal konularla değil parayla ilgiliydi, zira o savaşan tanrılar aslında aynı şeye verilmiş farklı isimlerdir. Benzer savaşlar

biyolojide de rutin olarak meydana gelir, ama daha büyük kaynaklar söz konusu olduğu için onlar çok daha çirkindir.

Belirme Çağına geçiş de karşı-kuramların, yani sorgulamayı durduran, dolayısıyla keşfi sekteye uğratan düşünce akımlarının giderek artan tehdidiyle nitelenir. Karşı-kuramlar şimdi daha büyük bir tehdittir; çünkü geçmişe oranla üretilmeleri daha kolay, yok edilmeleri de daha zordur. Bu kısmen talebin artması yüzündendir. Hızla çoğalan, kimileri melek, kimileri şeytan olan kanunlarla dolu bir dünya, evrim gibi iyiliksever ve başka bir şeyi anlamayı gereksiz kılan bir baş kanunla yönetilen bir dünyadan önemli ölçüde daha az çekicidir. Çağımızın başlıca karşı-kuramı, keşfedilecek temel bir şeyin kalmadığı, öyle ki yaşadığımız dünyanın hiç kimseye ait olmayan, dolayısıyla iş taktikleriyle –kaynak yönetimi, rekabete dayalı reklamcılık, en güçlüünün hayatta kalması vb– meşru olarak ele alınabilecek bir ayrıntılar yığınınından ibaret olduğu fikridir. Bunun bir sonucu mutlak doğrunun olmaması, sadece gömlekler ya da hamburgerler gibi işe yaramaz hale geldikleri zaman çöpe atılan ürünlerin olmasıdır. Karşı-kuramların tehlikeli ideolojiler olmalarının tek sebebi yalnızca sorgulamayı sekteye uğratmaları değil, kişiyi uyutarak düşmanlarının avantajı çevirebilecekleri tehlikeleri göz ardı etmeye itmesidir.

Belirme Çağında ideolojiler geçmiştekine göre daha kolay zıvanadan çıkarlar. Bunun nedeni daha alt seviyedeki kanunların incelikli ve dolayısıyla doğru bir şekilde çözülme-lerinin zor olması ve hepimizin bu kanunları –yanlış olsalar bile– kendi iyiliğimize görmek için güçlü ekonomik teşviklerinin olmasıdır. Özellikle kişinin geçimi söz konusu olduğunda bu arzuları iyiye yönlendirmek için muazzam bir otokontrol gerekir. Sıradan faniler bunu her zaman başaramazlar. Sonuç olarak, modern bilimin kabul edilmiş bilgi tabanında yanlış bilgilerin oranı İndirgemecilik Çağındakine göre daha fazladır, bu da konuya öncekine göre kuşkucu bakmamızı ve oybirliğine daha az değer vermemizi zorunlu kılar.

Bu bahar Şangay'yı ilk defa gördüm. Şehir gizlice Muhteşem Yedili adını verdiğim olağanüstü bir Japon meslektaş

grubuyla yaptığım yıllık küçük görüşmeye ev sahipliği yaptım.⁴ Bu adamlar o kadar iyiler ki onlarla görüştüğümde kendi branşımdaki güncel her şeyi öğreniyor ve seyahat etme ihtiyacından büyük ölçüde kurtuluyorum. Tipik olarak bu görüşmeyi Hawaii’de yaparız; ama bu yıl, hem Çin’deki dostlarımıza bir şekilde yardımcı olmak hem de maliyetleri en aza indirmek amacıyla Şangay’da yaptık. Bu sefer ilk ağır akut solunum yolu yetersizliği sendromu (SARS) salgınının tam o sıralar patlak vermesi maliyetleri düşük tutmaya yardımcı oldu. Korkutucuydu, ama güçten düşürecek kadar da değildi. Etnik olarak Çinlilerin yoğun olduğu bir ülkeyi ziyaret etmek bir batılı için kaçınılmaz biçimde kilo aldırıcı tecrübe oluyor; çünkü Çin, Fransa ile beraber evrenin yiyecek başkenti. Bu kültürde önemli yabancı konuklara “sadece yetecek kadar” yiyecek sunmak konukseverliğe kesinlikle yakışmayacak bir davranış olarak görülüyor. Her zaman çok fazla yiyecek olması ve bu yiyeceğin de iyi olması gerekiyor. Dolayısıyla duvarlarında Başkan Clinton gibi ileri gelenlerin fotoğraflarının olduğu şelalenin yanındaki Golden Temple restoranında hamur köftelerinin, istiridye soslu domuzların, karidesli Çin pazılarının ve diğer yemeklerin ve beraberlerinde sunulan mükemmel yerel biranın hiç sonu gelmez. O akşam yemekten sonra arkadaşlarımdan bazıları bir caz kulübüne gittiler, ama ben çok yorgun olduğum için diğer grupla beraber otele geri yürümeye karar verdim. Rıhtımın her yanı bir Hollywood film setindeki gibi projektör ışıklarıyla aydınlatılmıştı ve her tarafta gecenin keyfini çıkararak yürüyen çiftler vardı. Bu saat on bir civarına kadar devam etti, sonra her gece olduğu gibi ışıklar söndü ve hoparlörlerden herkese eve gitmesi talimatı verildi. Çin ideolojiden çok çekmiş ve bunun etkilerinden kısmen Singapur, Hong Kong ve Taipei’den gelen sermaye desteği sayesinde yeni yeni kurtulan bir ülkedir. Hâlâ gideceği çok uzun bir yol vardır, bütün bunlar olurken yerli halk geçmişinden utanır ve dışa-

⁴ Muhteşem Yedili T. Ando, Hiroshi Eisaki, Atsushi Fujimori, Naoto Nagasaka, Tajima, Yoshi Tokura ve Shen-ichi Uchida’dır. Aslında geçmişte üye olan Sadamichi Maekawa’yı da katarsak sekiz kişi olur.

rıdan gelenlerin onu hiç görmesini istemez; oysa dışarıdan gelenler meseleyi gayet iyi anlarlar, zira biz de böyle durumlar yaşadık. Sonuç olarak Şangay'ın kendisi kısmen gerçek, kısmen de ön cephenin ardında her zamankinden daha fazla bayağılık barındıran etkileyici bir gösteridir. Ama bu aynı zamanda bir önermedir: İdeolojimi geride bıraktım ve işte buna dönüşeceğim.

Biz endüstriyel bakımdan gelişmiş ülkelerde yaşayanlar için bu kadar kolay olmadığını biliriz ve serbest pazar ekonomilerinin sert gerçeklikleri sonunda sosyalist destek sisteminin gerçeklikleriyle karşılaştığında bu insanların sorunlar yaşayacağından şüpheleniyorum. Ama yine de düşünceleri hem cesurca hem de dürüsttür. Şangay'dayken bu fikrimi meslektaşlarımdan birine, yıllar boyunca Uluslararası Kuramsal Fizik Merkezinde çalışmış, şimdi Pekin'e geri dönmüş düşünceli, cana yakın bir adama söyledim. Bir an düşündü, sonra gözlemimin ne kadar karakteristik biçimde Amerikan olduğunu söyledi. Bunu bir övgü olarak söyledi, ben de öyle aldım.

Antik Yunan'ın modern bilimdeki acı dolu yankıları neden Belirme Çağında belirsizlikle yaşayamayacağımızı, en azından uzun süre yaşayamayacağımızı gösterir. Sık sık böyle yapmamız gerektiğini, çünkü ana kanunların önemli olmadığını, küçük yardımcı kanunları meydana çıkarmanın fazla pahalı olduğunu duyarız, ama bu argüman tam anlamıyla hatalıdır. İnceliğin arttığı zamanlarda kişinin daha az değil, *daha çok* niceliksel ölçüme ihtiyacı olur. Hassas biçimde yapılamayan ya da hassas olsa dahi tekrar edilemeyen bir ölçüm asla politikadan ayırt edilemez, dolayısıyla da mitolojiler oluşturmaları kaçınılmazdır. Böyle anlam kaymaları arttıkça tartışmanın bilimselliği azalır. Bu bakımdan hassas ölçüm, bilimsel kanunun *ta kendisidir* ve hassas ölçümün imkânsız olduğu bir ortam kanunsuzdur.

Hassasiyet gereksinimi de diğer büyük Yunan geleneğine, fikirlerin açıkça tartışılmasına ve anlamlı şeylerin anlamsız şeylerden acımasız bir şekilde ayrılmasına duyulan ihtiyacı iki katına çıkarır. Tek başına hassasiyet iyi kanunu garanti

etmez. Belirme çağındaki finansman uygulamalarının yan etkisi içeriği seyreltmek ve şunun gibi esprilerin yapılmasına yol açmaktır: *Physical Review* artık o kadar hacimli ki, ardışık sayıları üst üste yığılsa ışık hızından hızlı hareket eden bir yüzey oluşur, ama bu göreliliği ihlal etmez, çünkü *Physical Review* hiç bilgi içermez. Fizikle kısıtlı olmayan bu sorunun meydana gelmesinin nedeni büyük deney laboratuvarlarının çalışmalarını eleştirilere karşı savunmazlarsa sürekli para alamayacak olmaları, parayı almak için de tipik olarak bazı fikirleri ve düşünce akımlarını aslında önemli olmasalar bile önemli diye tanımlayan, kendi kendine hakemlik yapan tekeller oluşturmalarıdır. Aşırı durumlarda dergileri genişletmekten ve sık uçan yolcu hesaplarını şişirmekten başka bir amaca hizmet etmeyen karmaşık, sofistike bir ölçümler ağı ortaya çıkar. Gerçek ilerlemenin meydana gelmesi için teknolojiye biraz yaratıcı tahribat karıştırmak gereklidir. Bu yaratıcı sinerji için bir eğretilenme olarak yin ve yang kullanılabilir, ama ben bunların birbirine kilitlenen sembolünü Seine'in sol ve sağ kıyılarına dönüştürmeyi tercih ediyorum. Sağ kıyı yönetim ve ölçümdür, sol kıyı anarşi ve sanattır ve aralarındaki çatışma da Paris'tir. Fransız meslektaşlarımdan biri meseleyi çok daha iyi ifade etti. "Evet," dedi gözünde bir pırıltıyla, "bir keresinde sağ kıyıya çıkmıştım."

Kasım 1997'de, Nobel Ödülü kazandığımızın açıklanmasından bir ay sonra, bütün yeni ödül sahipleri ve eşleri Washington'da İsveç elçisinin konutunda düzenlenen smokinli bir akşam yemeğine davet edildiler. Aslında bu, elçi açısından zekice bir hamleydi; zira Washington cemiyetini evine çekmek için bizi yem olarak kullanıyordu. İşe yaradı da.

Masamda oturanlardan birinin etiketinde "Safire" yazıyordu, ama adam köşe yazarı William Safire'in olmasını beklediğimden daha kısa boylu ve daha sessizdi. Bu yüzden ona sordum, o da gerçekten ünlü köşe yazarı Safire olduğunu söyledi. Sağımızda oturan çift bu konuşmadan büyük keyif aldı ve eşimle ikimize alçak sesle muhtemelen bu adamın söylediği hiçbir şeye katılmayacağımızı, ama söylediklerinin

bizi çok eğlendireceğini açıkladı. Safire'in birçok konu hakkında çok fazla şey bildiği anlaşıldı. İlginç biçimde bu konular arasında fizik de vardı. Safire John Bardeen ve Bob Schrieffer ile beraber süperiletkenlik kuramı için Nobel Ödülü almış olan Leon Cooper'ın sınıf arkadaşı olduğunu ve hâlâ onunla sık sık konuştuğunu söyledi. Sonra bombayı patlattı: Leon, fiziğin öldüğüne inanıyormuş. Yapacak önemli bir şey kalmadığını düşünüyormuş ve beyinde sinyal işleme yollarını modellemeye geçmiş.

O noktada salonun merkezinde bir karışıklık oldu ve yemek sonrası eğlencesi olarak yeni Nobel sahiplerinin mikrofona alacakları ve seyircilerin soracakları, takdimcinin de uygun biçimde filtreleyeceği soruları cevaplayacakları bir oyun olacağını açıkladı. Böylece herkes gayretle küçük kâğıt parçalarına sorular yazarken Dan, Horst ve üçümüz müsaade isteyip podyuma doğru yürüdük. Nihayet konuşma sıramız geldiğinde sorulan sorular her zamankilerden oldu; çalışmalarınız ne işe yarar ve parayla ne yapacaksınız gibi. Ama sonra Horst'a zor bir soru geldi: Einstein hâlâ geçerli midir? Az önceki konuşmamızı düşünerek sorunun Safire'dan geldiğine emin oldum; ama yine de bu, birçok insanın zihnindeki bir sorudur. Horst bu sorudan çok sarsıldı ve beceriksizce "o tür" bir fizikçi olmadığını ve dolayısıyla öyle bir soruya cevap vermek için nitelikli olmadığını açıklamaya çalıştı. Bu aşırı muhafazakârlığın ve öyle şeylerle ilgilenmiyormuş gibi yapmanın profesyonel normun parçası olduğu bir yarı iletken toplantısında tam da görgü kurallarının gereği olan cevaptı, ama bunun gibi bir izleyici kitlesinin önünde tamamen uygunsuz kaçıyordu. Ayrıca samimi de değildi, zira içten içe hepimiz "o tür" fizikçiyizdir. Bu yüzden mikrofona geçici olarak alıp kendi cevabımı vermek için izin aldım. Einstein'ın fikirlerinin kesinlikle *doğru* olduğunu ve her gün bunun kanıtlarını gördüğümüzü, ama sorunun daha derin anlamının göreliliğin doğru olup olmadığı değil, temel şeylerin önem taşıyıp taşımadığı ve keşfedilecek başka temel şey kalıp kalmadığı olduğunu söyledim. Dünya çapındaki seyahatlerimde bu endişenin tekrar tekrar dillendirildiği-

ni duyduğumu ve sonradan bunun teknolojik gurur –1900’de her şey icat edildiği için patent ofisinin kaldırılması önerisinde olduğu gibi– olduğunu anladığımı söyledim. Bir çevrenize bakın dedim. Bu salon bile anlamadığımız şeylerle dolup taşıyor. Sadece çok fazla eğitimle zedelenmiş insanlar bunu göremiyor. Doğal dünyayı anlama mücadelesinin sonuna geldiği fikri sadece yanlış değil, gülünç derecede yanlış. Çevremizde gizemli fiziksel mucizeler var ve bilimin devam eden, bitmemiş görevi de onları açığa çıkarmak. Sözlerimi bitirdikten sonra kısa bir sessizlik oldu, ardından giderek artan bir alkış tufanı duyuldu; bilimin ölümü karşı-kuramı için uygun bir ret. Bu sonuçtan gayet memnun bir halde masama döndüm. Safire’ın bir kitap yazmama yönelik tavsiyesi bu hissimi daha da artırdı.

Elçinin akşam yemeğindeki alkış, görüldüğü kadar mucizevi değildi, çünkü kabaca aynı konuşmayı dünyanın her yanında yaptım ve aynı sonucu aldım. İlk alkışı Amerika’da değil Japonya’da almıştım. O sırada bunun sebebinin Japonya’nın Budist bir ülke olması olduğu sonucuna varmıştım, ama bu yanlıştı. Deneyi Amsterdam’da da tamamladım ve sonuç kalkan ellerin sayısına ve sorulan özel sorulara varıncaya kadar neredeyse aynıydı. Hollanda hayal edebileceğiniz Budizm’den en uzak ülkedir. Sonra aynı şeyi Göteborg’da, Montreal’de ve Seul’da denedim ve karşılık hep aynı oldu. Dünyanın birçok yerinde fiziğe ilgi olması belki de o kadar şoke edici değildi. Asıl sürpriz bu ilginin bir ülkeden diğerine değişmemesiydi. Görünüşe göre dünyada farklı kesimlerden (iş dünyası, tıp, devlet, mühendislik, tarım) insanlar arasında muazzam bir zeki insanlar rezervi var. Bu insanlar bilimi seviyor ve daha keşfedilecek çok şey olduğunu sezgisel olarak anlıyorlar.

Belirme Çağına geçerken sağduyuyu kabul etmeyi, doğanın örgütlenme harikalarını önemsiz görme alışkanlığını geride bırakmayı ve örgütlenmenin kendi başına önemli olduğunu, hatta bazı durumlarda *en* önemli şey olduğunu kabul etmeyi öğreniyoruz. Kuantum mekaniği kanunları, kimya kanunları, metabolizma kanunları ve üniversitemin

avlularında tilkilerden kaçan tavşanların kanunları hep bir öncekinden geliyor, ama sonuçta tavşan için asıl önemli olan son kanunlar kümesi.

Aynısı bizim için de geçerli. Mantıklı olanı kabul etmeyenleri Temmuzda benimle beraber kuantum mekaniği ve temel parçacıklara yönelik acil bir ihtiyacın olmadığı kırlara gitmeye davet ediyorum. Fazla zor olmayacak. Serin bir sabah erkenden uyanacak ve kakao için bütan ocağımı yakacağız. Neyse ki geceleyin hiç ayı gelmemiş, ama bunun sebebi bizim zekice yiyeceği asmamız değil zeki ayıların çok insanın olduğu büyük kamp alanlarına gitmeyi tercih etmeleri. Soğuk granitin üzerinde oturarak parıldayan çeşitli boyut ve şekillerdeki mika benekleri inceliyor, bir yandan aşırı sıcak çikolatamızı yudumluyor ve altın rengi günışığının doruklarının uçlarını boyamasını ve yavaşça aşağı inmesini izliyoruz. Birkaç metre ötedeki chinquapin* ağacından küçük bir dere akıyor ve gece boyunca olduğu gibi şimdi de bize eşlik ediyor. Her yanda gölgelerde granit levhalarının üstünde ya da yer yer keçe gibi kozalaklarla kaplı olan çıplak toprakta gri taşlar var. Diğer herkes hâlâ uykuda. Soğuk rüzgâr bir süre kanyonun aşağısına doğru estikten sonra kesilerek sabah ters yönde esmeye hazırlanıyor. Güneş ışığı aşağı uzanarak yakındaki ağaç gövdelerini bir bir aydınlatıyor ve nihayet zemine inip o ana kadar uyuyan, şimdiyse uyku tulumlarında kalırlarsa pişeceklerinin farkına varan insanları homurdanarak şikâyet etmeye sevk ediyor. Şikâyetler yerini ayak seslerine, alüminyum kapların tangirtisine ve iskambil oyununu kimin kazandığıyla, yulaf ezmesini pişirmenin kimin görevi olduğuyla ve kimin tuvalet kâğıdını yanlış yere koyduğuyla ilgili uykulu konuşmalara bırakıyor. Sonra büyülü bir şekilde başlayan örgütlenme etkinliğiyle pasaklı şeyler temiz ve amaçlı şeylere dönüşüyor ve kişisel eşyalar yavaşça öbekler halinde bir araya geliyor, yerler pırıl pırıl yapılıyor, öyle ki sincaplar ve alakargalar neler olduğunu merak ediyor. Sonra birlikte tuzakların arasından zirveye doğru yola çıkıyoruz. Nispeten az konuşuyoruz, çünkü istediğimizden

* Bodur kestane ağacı –çn.

daha fazla bataklık çamuru ve pis kokulu lahana var ve ormanın sınırından sonraki kayalara tırmanmak için konsantrasyon gerekiyor. Kırsal arazide genellikle olduğu gibi tırmanırken güneş ışığı altında sıcaklıyor, orada burada sebepsiz yere kayanın içinden bitmiş çam ağaçlarıyla vurgulanan granit tabakalarının sağladığı gölgelerde serinliyoruz. Uzun, tekinsiz bir tırmanışın ardından kenara varıyoruz ve hayretle diğer tarafta sığ bir düzlüğün olduğunu keşfediyoruz. Düzlükte artık mosmor acıbaklalarla dolu bir koyağa dönüşmüş olan deremizin devasa taşların arasından yılan gibi kıvrılarak pembe yabancı çiçeklerle kaplı geniş bir çayıra doğru uzandığını görüyoruz. Orada yaban arıları mutlu bir şekilde tıkınıyor. Otlanan bir geyik biz yaklaşırken ürküyor ve sıçrayarak kaçıyor. Bu çayırın içinden küçük bir gölün başına yürüyüp su şişelerimizi dolduruyor, bir çift yerfıstığı ezmeli sandviçi ve kuru kayısıyı mideye indiriyor, sonra da bir sürü atın nallarıyla aşınmış tozlu bir keçi yolundan yürüyerek ikinci, daha soğuk zirveyi geçiyoruz. Öğlen oluyor ve artık aşağıda bizi bekleyen biftek ödülünü düşünerek ağzımız sulanıyor, bu yüzden gece çökmeden dinlenme istasyonuna varmak için daha fazla gayret sarf ediyoruz. Devrilmiş taşlardan oluşan sırtlarla birbirinden ayrılan kilometrelerce uzunluktaki düz ve kupkuru çayırlar aniden yerini bazalt bir tektaşın tabanındaki bir yarığın içinden baş döndürücü bir inişe bırakıyor. Tektaşın duvarlarında, sanki büyümlü gibi yoktan fışkıran kaynakların suları birleşerek, köpükler içinde aşağıdaki vadiye akıyor. Karşısında parlak günışığıyla aydınlanmış kayaların olduğu, elastik humus toprağıyla ve eğreltiotlarıyla kaplı koyu kırmızı bir köknar ormanının içinde zorlukla ilerliyor, sonunda her tarafı aşılabilir dağlarla çevrili bir adaçayı okyanusuna ulaşıyoruz. En batıdaki dağın oluşturduğu gölge bize güneşin batmak üzere olduğunu gösteriyor. Coşkulu bir nehre dönüşmüş olan akıntı yolunu takip ederek buram buram sedir ve çam kokan bir kanyondan geçiyor, kayalık vadi duvarını tırmanıyoruz. Artık istasyona varmaya o kadar odaklanmışız ki, üzerinde zorlukla yürüdüğümüz buzulun her yanını aydınlatan günbatımı alevlerini

pek fark etmiyoruz. Arasından nehrin çağlayarak aktığı kayalık gediğe iniyor, aşağıda hava karardığı için güçlkle görmediğimiz gürültülü suyun üzerindeki yüksek köprüden geçiyor, altın madencilerinin graniti patlatarak açtıkları eski yoldaki tekerlek izlerinde tökezliyor ve nihayet çayıra, sonra yorgun ve doymuş yük hayvanlarının yaşadığı büyük ağıla, sonra da istasyonun kendisine varıyoruz. Zifiri karanlık çökmüş. Sizi, gıcırtilı sineklikli kapıdan restorana sokacak ve o bifteği ısmarlayacağım. Hayatınızda yediğiniz en lezzetli şey olacak.

Keşiflerin sonunda değil, İndirgemenin sonunda yaşıyoruz. Bu olayların ve mantığın insanlığın mikroskobik şekilde her şeye hâkim olabileceğini savunan sahte ideolojiyi silip süpürdüğü bir çağ. Mikroskobik kanunların yanlış ya da amaçsız olduğunu değil, birçok durumda çocuklarının ve çocuklarının çocuklarının, yani dünyanın yüksek örgütlenme kanunlarının onları ilgisiz kıldığını demek istiyorum.

DİZİN

A Boy and His Dog (Ellison) 173
Adams, Ansel 19, 20, 21
Adams, Douglas 238
AIDS 192, 237
Alamos, Los 209
American Experience (Burns) 19
Anarşistler 210, 212, 223
Antropik ilke 243
Aristoteles 46
Arovas, Dan 10
Arşimet 57
Asimov, Isaac 163
Atom düzeni 57
Atom enerjisi 194
Atom Enerjisi Kanunu, 1954 194
Atom kafesleri 55
Atomlar 15, 25, 36, 50, 51, 64
Atom spektroskopisi 74
ATP sentazı 200

Bardeen, John 88, 105, 106, 107,
108, 122, 249
Bardeen'in kuramı 106
Beliren ilkeler 203
Belirleme 175
Belirleme Çağı 240, 241, 245, 247
Belirleme olgusu 24
Belirleme üzerine Disiplinler Arası
Atölye 226
Bilimin Sonu (*The End of Science*)
(Horgan) 14
Bilinç 230
Birleşik Devletler Jeoloji Derneği
204
Biyokimya 199
Biyoloji/biyologlar 27, 38, 199,
203

Bohr, Niels 22
Botstein, David 27
Bradbury, Ray 224
Braun, Ferdinand 88
Bravman, John 227
Broad, William 218
Brooks, Mel 184
Buddhizm 49
Buhar, maddenin hali olarak 54
Burns, Ric 19
Büyük Patlama 243

Cat's Cradle (Vonnegut) 55
Chapline, George 140
Contact 243
Conway, John 159
Çekim kuramı, Einstein'ın 143,
145

Darwin, Charles 198
Davis, Jay 194
Deja vu deneyimi 187, 194
Deneyci (Galileo) 45
Deneysel sentezler, matematik
12, 13
Dengeli koruma 176
Dirac, Paul 129
DNA kopyalanması 191
DNA polimerazı 166
DNA sırası 201
Doğal dünya 9, 11, 21, 22, 250
Dönüş rezonansı sinyalleri 188

Einstein, Albert 32, 45, 106, 143,
144, 146
Einstein'ın Denklemleri 143
Elastik madde 132, 147

- Elektromanyetik, kuantum 147
 Elektron denizi 109, 110, 114, 118
 Elektronik bilgisayar 22
 Elektronlar 36, 65, 82, 83, 84
 Ellison, Harlan 173
 Enerji boşluğu, süperiletkenlikle ilişkili 110, 111, 117
 Epistemolojik engeller, kuramsal bilginin önündeki 16
 Eşdeğerlik, ilkeleri 148
 Evrenbilim 182, 243
 Evrenin hâkimleri 13
 Evrenin yeniden normalleşmesi 183
Evrenin Zarafeti (Greene) 12
 Evrensel fiziksel kanun 41, 48
 Evrensel kolektif olgusu 50
 Evrensel nicelikler 32, 33
 Evrim kuramı 198, 199

Fantastic Voyage (Asimov) 163
 Feynman, Richard 122
 Fiziksel bilim 32
 Fiziksel sabit 49
 Flatow, Ira 214
 Fleischmann, Martin 213
Fonon 134
 Ford, Rich 228
 Foton 134
 Fowler, T. Kenneth 214
Frankenstein (Shelley) 192

 Galaksi fiskiyeleri 14
 Galilei, Galileo 41, 45
 Gardner, Martin 159
 Genetik kodlar 191
 Ginsparg, Paul 209
 Goldstone'un teoremi 133
 Görelî elektron kuramı 129
 Görelîlik 129, 136, 138, 143, 145, 148
 Greene, Brian 12, 14
 Gumbrecht, Sepp 226, 230

 Hall, Edwin H. 98
 Hall etkisi 99, 100, 101
 Hareket, kanunları 41, 42, 49, 55
 Heinlein, Robert 187
 Heisenberg, Werner 22, 76
 Heksatik faz, hidrodinamiğin 62
 Hidrodinamik 61, 174, 175
 Higgs parçacığı 137
 Hilekâr Hindi Etkisi 177, 178, 196
 Horgan, John 14

İki Büyük Dünya Sistemi Hakkında Diyalog (Galileo) 46
 İzotropik sıvılar 62

 Jackson, Ron 193
 Josephson sabiti 34, 116
 Jüpiter 45

 "Kararlı Olmanıza İzin Verin" 233
 Kablitz, Andreas 229
 Kaos, kanunları 50, 179
 Karmaşıklık kuramı 158
 Karşı-kuramlar 198, 245
 Karşılıklılık ilkesi 51
 Karşı-madde 128, 129, 138
 Katı Hal 106, 172
 Katı, maddenin hali olarak 54
 Kauffman, Stuart 196
 Kepler, Johannes 41, 47
 Kesirli kuantum 100, 101
 Kim, Chung-Wook 141, 142
 Kinetik kuram, gazların 50
 Kornberg, Arthur 166
 Koruma ilkelerinin Belirmesi 176
 Kova Burcu Çağı 237
 Kuantum alan kuramı 121, 122
 Kuantum bilgisayarı 86, 87, 88
 Kuantum dalgaları 78, 113
 Kuantum doğası, elektronların 88, 90
 Kuantum dolanıklığı 74, 75
 Kuantum elektrodinamiği 129
 Kuantum fiziği 96
 Kuantum gürültüsü 77
 Kuantum mekaniği 71, 73, 74, 76, 77, 121, 126, 132, 133, 156, 250
 Kuantum ölçümü 71
 Kuramsal fizik 208
 Kuramsal safha, hidrodinamiğin 63
 Landau, Lev 120
 Langmuir, Irving 33

- Lasnex 92
 Laughlin, Robert B., Nobel Ödülü 100, 248
 Lazer füzyonu 219
 Lazer füzyonu topağı 219
 Lazer silahları 219
- "Mathematical Games" 159
 "More is Different" (Anderson) 15
 Makroskobik belirme 200
 Makroskobik ölçüm 36
 Mallove, Eugene 214
Martian Chronicles (Bradbury) 224
 Matematiksel inşa, deneysel senteze karşı 13
 Maxwell, James 144
 Meissner etkisi 115, 121, 136
 Mekanik saatler, incelenmesi 29, 43
 Mesajcı RNA 187, 191, 195
 Mezozkopik manyetizma 166
 Mikrobiblolar 162
 Mikroskobik kanunlar 14, 56, 173, 253
 Mitchell, Sandra 227
 Moore, Gordon 90
 Moore kanunu 90
 Morley, Edward 147
 Morötesi sınır 129, 130
 Murder by Death (Simon) 223
 Mükemmel Etli Güveç 223
 Müller, Alex 119
- Nanobiblolar 162, 163, 164, 165
 Nano ipler 163
 Nanokristaller 163
 Nano ölçek 162, 164, 165
 Nanoteknoloji 162, 163
 Nanotüpler 163, 164
 Nano yapılar 164
 Neden-sonuç ilişkileri 11, 15
 Neptün 43
 Newton, Isaac 41, 45, 47
 Nobel Ödülü 96, 105, 106, 107, 147, 249
 Nükleer enerji 125, 138
 Nükleer reaksiyonlar 213
- Nükleer silahlar 106, 124, 125
 Nükleer tasarım kodları 189
- Otostopçunun Galaksi Rehberi* (Adams) 238
 Ölçeğin değişmezliği 151
- Physical Review 248
 Pickstock, Catherine 227, 228, 230
 Planck, Max 36, 94, 116
 Plüton 43
 Pope, Alexander 41
 Presley, Elvis 208
 Prigogine, Ilya 15
 Principia (Newton) 41
- Radyoaktivite 148
 Ramshaw, Ian 193
 Reagan yönetimi 219
 Ribozom genetik kodu 191
 Röntgen ışını lazer programı 218, 219
 Rydberg sabiti 34
- "Sıkıştırılmaz" faz, hidrodinamik, 63
 Saat gibi işleyen evren, Newton'ın 42, 44, 45, 67, 68, 69
 Saf mantık 44
 Sahte bilim 33
 SARS (ciddi akut solunum sendromu) 246
 Schrödinger, Erwin 22, 69, 70
 Schrödinger'in Kedisi 71, 76
 Science Friday 214
 Scientific American 159
 Serbest pazar ekonomileri, sosyalizme karşı 247
 Ses kuantumu 134
 Ses parçacıkları 132
 Sıvı, maddenin hali olarak 54
 Sich Bestimmen Lassen 233
 Sicim kuramı 243, 244
 Simon, Neil 223
 Soğuk füzyon 212
 Sosyalizm 230
 Sovyetler Birliği 219

- Spaceballs 184
Star Warriors (Broad) 218
 Star Wars 171
 Stegner, Wallace 204
 Stern 21
 Stewart, Potter 229
 Süperiletkenler 65, 181
 Süperiletkenlik, kuramı 105, 106,
 108, 111, 112, 114, 115, 117,
 118, 119, 121
 Süperiletken sıvı 136
 Süpernovalar 150

 Takayanagi, Kunio 182
 Taylor, Joseph 146
 Termal genleşme, ilkesi 29
 Termal uranyum fisyonu 126
 Termodinamik 38
The Grapes of Wrath 204
 Toplu davranış 241
 Toplu kararsızlık 196, 197, 200
 Toplu kesinlik 35
 Toplu örgütlenme ilkeleri 200,
 240
 Toplu örgütlenme olgusu 51, 52
 Townes, Charles 13
 Transistörler 82, 85, 88, 91, 93,
 98, 197
Türlerin Kökeni (Origin of
 Species) (Darwin) 11
 Uranüs 43
 Urban VIII 46

 Uzak vakumu 37, 66, 121, 126,
 130, 148, 151
 Uzayzaman vakumu, olarak mad-
 de 16

 Vakumdaki ışık hızı 34
 Voltaire 243
 von Bismarck, Otto 32
 von Klitzing, Klaus 36, 94, 97, 98,
 99, 100
 von Klitzing sabiti 116

 Wigner kristalleşmesi 166
 Wilde, Oscar 192
 Wilson, Edwin O. 229
 Winograd, Terry 228
 Wlad Godzich, Dean 229

 Xiaoping, Deng 38

 Yaratıcı özgürlük 211
 Yarı iletkenlik 244
 Yunan tanrıları 242

FARKLI BİR EVREN

Robert B. Laughlin

Süper sicim teorileri ve Büyük Patlama evrenbilimi çağında, bilinmeyen günlük hayatlarımızdan inanılmayacak kadar uzakmış gibi düşünmeye alışınız. Ama *Farklı Bir Evren*'de, Nobel ödüllü Robert Laughlin bilimsel sınırın burnumuzun dibinde olduğunu ileri sürüyor; nihai kuramlar aramak yerine, bir kristalin çok sayıda atomun düzenlenmesi sonucu oluşan sertliği ve şekli gibi beliren özellikler dünyasını göz önünde bulunduruyor ve bize fiziğin en temel kanunlarının aslında nasıl belirdiğini gösteriyor. *Farklı Bir Evren* bize niçin temel fizik kanunları hakkındaki bütün düşüncelerimizin değişmesi gerektiğini gösteren, gerçek anlamda hayret uyandırıcı bir kitap.

"*Farklı Bir Evren* fizik araştırmacıları, öğretmenleri ve öğrencileri için okunması zorunlu bir kitap olmalı."

– NEW SCIENTIST

"Kesinlikle enfes bir kitap. Cezbedici bir şekilde yazılmış, ışıltılı, neşeli, komik, saygısız, üstelik eğlenceli hikâyelerle dolu, Ayrıca kuantum davranışının çok tuhaf dünyasının günlük deneyimin tanıdık dünyasına nasıl katıldığını bildiğim bütün kitaplardan daha iyi anlatıyor... Laughlin gerçekten neden söz ettiğini biliyor."

– GEORGE WHITESIDES, Harvard Üniversitesi

"Önemli, insanın beynini gıdıklayan yeni bir kitap... Laughlin'in tezi merak uyandırıcı."

– THE NEW YORK TIMES BOOK REVIEW

ALFA

Ticarethane Sokak, No: 15, 34110
Cağaloğlu, Fatih - İstanbul
T. 0212 513 3420 (pbx)
F. 0212 519 3300
www.alfakitap.com



BİLİM FİZİK

ISBN 978-605-106-979-1



18.00.₺